
INTRODUCCIÓN SINTÉTICA A LAS

ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS



Santiago Ormeño Villajos



INTRODUCCIÓN SINTÉTICA A LAS

ENFERMEDADES DE
LAS PLANTAS

Santiago Ormeño Villajos



Autor
Santiago Ormeño Villajos



Esta Obra está bajo una **Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**. Se permite la copia, distribución y comunicación pública, siempre que se mantenga el reconocimiento de la obra y no se haga uso comercial de ella. Si se transforma o genera una obra derivada, no se puede distribuir el material modificado. alguna de estas condiciones puede no aplicarse, si se obtiene el permiso del autor.

ISBN: 978-84-09-50046-8

1^a Edición Marzo 2023

Madrid

Índice general

Prologo	V
Prefacio	VII
Sobre el autor	VIII
1. La enfermedad en plantas y tipos	1
1.1. El concepto de enfermedad	1
1.2. Tipos de enfermedades y patógenos	2
2. Síntomas y diagnóstico	7
2.1. Síntomas de la enfermedad	7
2.2. Diagnóstico de enfermedades	28
3. Mixomicetos , plasmodioforomicetos y oomicetos fito- patógenos	45
3.1. Mixomicetos	45
3.2. Plasmodioforomicetos	46
3.3. Oomicetos	47
4. Hongos fitopatógenos	51
4.1. Características	51
4.2. Quitridiomicetos	52
4.3. Zigomicetos	52
4.4. Ascomicetos	54
4.4.1. Taphrinomycetes	55
4.4.2. Sordariomycetes	57
4.4.2.1. Hypocreales	57
4.4.2.2. Microascales	58

4.4.2.3.	Glomerellales	58
4.4.2.4.	Ophiostomatales	58
4.4.2.5.	Diaporthales	59
4.4.2.6.	Xylariales	59
4.4.3.	Dothideomycetes	59
4.4.3.1.	Dothideales	61
4.4.3.2.	Capnodiales.	61
4.4.3.3.	Pleosporales	63
4.4.3.4.	Brotryosphaeriales	64
4.4.4.	Leotiomycetes	64
4.4.4.1.	Erysiphales	65
4.4.4.2.	Rhytismales	65
4.4.4.3.	Helotiales	66
4.4.5.	Mitospóricos	66
4.5.	Basidiomicetos	68
4.5.1.	Uredinomycetes	68
4.5.2.	Ustilaginomycetes	71
4.5.3.	Agaricomycetes	72
5.	Bacterias, virus, nematodos y plantas	75
5.1.	Bacterias y fitoplasmas	75
5.2.	Virus y viroides	77
5.3.	Nematodos	78
5.4.	Plantas parásitas	79
6.	Control de enfermedades	81
6.1.	Principios generales	81
6.2.	Marco jurídico	82
6.3.	Métodos que excluyen y evitan el patógeno	84
6.4.	Métodos culturales y medidas sanitarias	85
6.5.	Métodos físicos	86
6.6.	Métodos biológicos. Importancia del suelo	87
6.7.	Inmunización y mejora de la resistencia	90
6.8.	Protección directa. Controles químicos	94
7.	Factores ambientales y enfermedades abióticas	101
7.1.	Tipos e incidencia	101
7.2.	Iluminación, temperatura y humedad ambiente	101
7.3.	Propiedades del suelo	109
7.4.	Elementos nutritivos	110

7.5. Productos fitosanitarios y contaminantes atmosféricos	118
7.6. Daños mecánicos	120
8. Epidemiología	121
8.1. Desarrollo y cuantificación de la enfermedad	121
8.2. Modelos temporales de progreso de la enfermedad	128
8.3. Modelos espaciales	131
8.3.1. Generalidades. Precisión	131
8.3.2. Adquisición de datos. Muestreo	134
8.3.3. Interpolación. Condiciones y métodos	137
9. Espectroscopía y fotografía	147
9.1. Radiación electromagnética. Interacción con las hojas vegetales	147
9.2. Imágenes. Adquisición, clasificación e índices	150
Bibliografía	155

Prologo

Llega a mis manos el libro: “Introducción sintética a las enfermedades de las plantas”, del que es autor Santiago Ormeño Villajos, doctor ingeniero agrónomo y profesor de la UPM.

Desde que se jubiló como profesor, el Dr. Ormeño ha continuado ejerciendo una labor docente dirigida al colectivo de mayores del municipio donde reside, Tres Cantos, impartiendo diversos seminarios en el Centro Municipal de Mayores Antonio Somalo Bernal y en la Universidad Popular Carmen de Michelena. También ha venido asesorando para el buen manejo de los cultivos en los huertos urbanos de dicho municipio.

Al igual que Santiago Ormeño he impartido docencia en la UPM, en mi caso en el –área de Geología y Edafología, y gracias a su invitación impartí un seminario sobre manejo de suelos con aplicación a los huertos urbanos en dicho Centro de Mayores. Tengo que admitir que esta docencia ha sido para mí muy alentadora, pues ha puesto de manifiesto el alto interés que dicho colectivo de mayores tiene por mantener activa la mente después del cese de sus actividades laborales. Está claro que a estos seminarios los “alumnos” no acuden con el fin de estudiar una carrera para después ejercer una profesión, sino que lo hacen por interés personal y como una forma de enriquecer sus experiencias vitales pues como bien señala Santiago, en la mayoría de los casos, los asistentes sienten mucho apego a todo lo relacionado con el ámbito rural del que se alejaron hace muchos años.

El libro ha tenido que ser muy complejo en su concepción, de ahí el gran mérito del autor, pues el mundo de las plantas es muy amplio y diverso y en él se incluyen no solo las plantas de carácter agrícola con las que este peculiar alumnado tiene contacto a través de los huertos urbanos de los que Santiago es alma mater, sino además las plantas ornamentales sobre las que otra parte del alumnado proyecta un interés muy especial. Por otra parte, los agentes tanto bióticos como no bióticos causantes tanto de estas enfermedades como de su propagación son muy diversos. El autor, ha tenido el gran acierto de exponer las enfermedades de una forma sistemática, clara y concisa; además, ha incluido una amplia colección de magníficas fotos a color que facilitan enormemente la tarea de la identificación de la enfermedad a través de los síntomas que manifiestan las plantas afectadas. A destacar los dos últimos capítulos dedicados a la epidemiología y a los métodos fotográficos y espectroscópicos, de carácter muy técnico, que sin duda se

expandirán enormemente en un futuro inmediato en el ámbito de la agricultura de precisión. El presente libro, no sólo será de gran utilidad para el colectivo al que va dirigido, sino que también puede ser de interés para muchos técnicos relacionados con el cuidado de las plantas.

Rafael Espejo Serrano

Catedrático emérito de Edafología de la UPM

Prefacio

Con mucha frecuencia, mostrándome una fotografía, se me hace la pregunta ¿qué le pasa a mi planta? y tras ella, ¿qué puedo hacer para resolverlo?.

La mayoría de las personas que me plantean dichas preguntas proceden de un ámbito urbano y, aunque puedan tener cierta cercanía con el medio rural, se encuentran alejados, sea en el espacio, en el tiempo o en ambos, de lo que se considera una agricultura profesionalizada. Estas personas suelen presentar casos de diferentes ámbitos (interior, terraza, jardín, huerto urbano) con gran diversidad de especies, tanto cultivadas como ornamentales y, usualmente demandando métodos ecológicos de control.

Los agricultores, lógicamente, por antecedentes y la disciplina que se trata, han sido una referencia fundamental en la redacción de la presente obra. Los casos que suelen plantear son mas específicos, usualmente de especies cultivadas, sea en sus explotaciones o en los huertos rurales. Su urgencia por el control suele ser mayor que en el caso anterior, dadas las implicaciones económicas.

Las respuestas a las anteriores preguntas no siempre son sencillas, y menos aún de una manera inmediata. Los capítulos dedicados a diagnóstico, patógenos y enfermedades tienen como horizonte responder a la primera de las preguntas, el dedicado a medidas de control va dirigido a la segunda. Constituyen, por ello, una parte fundamental de la publicación.

Se complementan los anteriores con un capítulo sobre epidemiología y con otro en el que se da una introducción a métodos fotográficos y espectroscópicos, los cuales, sin duda, se irán introduciendo cada vez mas, con el desarrollo de la agricultura de precisión y la aplicación de la inteligencia artificial. Tal vez, por ello, sean de utilidad para algunos lectores.

Sea cual sea el origen del interés del lector, durante la redacción, he tenido muy presentes a aquellas personas que aman las plantas y que las quieren ver saludables.

Marzo de 2023

Santiago Ormeño Villajos

Sobre el autor

Santiago Ormeño Villajos es Dr. Ing. Agrónomo. Ha redactado proyectos de mejora en explotaciones agrarias de diferentes zonas de España. Ha sido profesor de la Universidad Politécnica de Madrid. Es autor del libro Teledetección Fundamental y del software SOV sobre teledetección y análisis territorial. Desde su jubilación, ejerce como voluntario de la Comunidad de Madrid, impartiendo docencia sobre cuidados y enfermedades de las plantas en el Centro Municipal de Mayores Antonio Somalo Bernal y, desde fecha mas reciente, también en la Universidad Popular Carmen de Michelena, ambos de Tres Cantos.

Capítulo 1

La enfermedad en plantas y tipos

1.1. El concepto de enfermedad

El término «enfermedad en plantas» se ha definido de varias maneras. Stakman y Harrar (1957) [202] consideraron la enfermedad como un desorden fisiológico o anomalía estructural que es perjudicial para la planta en su conjunto, para una parte de ella o para sus productos y que reduce su valor económico. El Dr. R. Raabe [161] de la Universidad de California Berkeley, define la enfermedad en plantas, como un tipo de alteración que perjudica a su forma y/o a su función y es consecuencia de una irritación continuada. El Dr. G. N. Agrios [4], considera que la enfermedad es una serie de respuestas, visibles o invisibles, de las células y tejidos, a la acción de organismos patógenos o factores ambientales y cuyo resultado son cambios perjudiciales en la forma, función o integridad de la planta y que pueden conducir a un deterioro parcial o a la muerte de algunas partes o de toda ella.

En una planta sana, se producen con normalidad una serie de funciones fisiológicas, como la división, diferenciación y desarrollo celular, la absorción de agua y nutrientes mediante las raíces, la formación de compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis, el transporte de sustancias mediante los haces libero-leñosos (xilema y floema), y las funciones de reproducción. En una planta enferma, no se realizan normalmente una o varias de las referidas funciones o cualquier otra de carácter fi-

siológico y tal circunstancia puede apreciarse mediante una serie de síntomas, como se verá mas adelante.

La ciencia que estudia las enfermedades de las plantas es la Patología Vegetal. Los daños producidos por insectos, ácaros, humanos u otros animales, normalmente quedan fuera del campo de dicha disciplina.

1.2. Tipos de enfermedades y patógenos

Dependiendo del criterio que se utilice, las enfermedades pueden clasificarse de diferentes formas, entre ellas se encuentran los tipos que se indican a continuación.

En función de la planta huésped, para España, el Ministerio de Agricultura, considera las 40 categorías que se indican seguidamente [134]. Uva de mesa, uva de transformación, olivar, cítricos, platanera, chirimoyo, aguacate, mango, caqui, frutales de pepita, frutales de hueso, almendro, avellano, kiwi, pistacho, castaño, nogal, cereales, maíz, arroz, alfalfa, leguminosas, patata, tabaco, algodón, girasol, remolacha, brassicas, champiñón-setas, hortícolas de hoja, liliáceas, fresa-fresón, alcachofa-cardo, solanáceas, quercus, frondosas, eucalipto, coníferas, parques-jardines y redes de servicio.

Si se considera el ambiente en que se desarrollan y se propagan, las enfermedades pueden ser relativas al aire (air-borne), al suelo (soil-borne) o a las semillas (seed-borne).

En función de la amplitud de la infección, las enfermedades pueden calificarse como localizadas (en una zona concreta) o sistémicas, en este caso el patógeno se dispersa por la totalidad o la mayor parte de la planta.

En base a las generaciones del patógeno, las enfermedades pueden ser monocíclicas (una generación por ciclo de cultivo), policíclicas (mas de un ciclo de infección por ciclo de cultivo) o poliéticas, ocupando, en este caso, varios años a lo largo de sucesivos ciclos de cultivo. En climas con estaciones marcadas, como es el caso de España, el ciclo de cultivo se corresponde, normalmente con un año.

Teniendo en cuenta el órgano al cual afectan, pueden ser referidas a flores, hojas, tallos, frutos o raíces.

Con referencia a los síntomas, las enfermedades pueden calificarse de podredumbres radicales, marchitamientos, royas, carbonos, oidios, mildius, tumores, etc., como se verá posteriormente.

Según la naturaleza del agente que las produce, las enfermedades,

pueden ser bióticas (también llamadas infecciosas) o abióticas, en el primer caso son producidas por seres vivos y por virus, en el segundo por factores ambientales. En el presente trabajo, se organizan las enfermedades de esta manera, refiriéndose al patógeno en cuestión o al factor ambiental al cual se asocia la enfermedad.

Tomado en sentido literal, un patógeno podría ser cualquier agente que produzca enfermedad, sin embargo, en general, dicho término se utiliza para referirse a seres vivos y virus, es decir en el caso de enfermedades bióticas. Los organismos patógenos que pueden producir enfermedades en las plantas se distribuyen en todos los reinos de la vida (Cavalier-Smith, 1998), básicamente son los siguientes grupos: hongos (reino Fungi), oomicetos (reino Chromista), bacterias (reino Bacteria), nematodos (reino Animalia), mixomicetos y plasmodioforomicetos (reino Protozoa) y plantas parásitas (reino Plantae) así como los virus.

Hongos y plasmodioforomicetos son mas parecidos a los animales que a las plantas, mientras que los oomicetos están más próximos a las plantas [19].

La mayoría de los autores incluyen a los oomicetos en el reino Chromista [174], al cual pertenecen las algas pardas, verdiamarillas y doradas, además de diatomeas y otras.

Según sus formas de vida, los hongos y oomicetos, que atacan a las plantas, al igual que otros patógenos, se clasifican, en las siguientes categorías [120] [58]:

- Biotrofos (oidios, royas, carbones, mildius...), , no matan a la planta que parasitan, al menos de una manera rápida. Tienen una total dependencia de la planta sobre la que se desarrollan para poder completar su ciclo de vida, son parásitos obligados. Su forma de vida es especializada.
- Necrotrofos (*Pythium*, *Fusarium*, *Botrytis*, *Monilia*, *Esclerotinia*, *Alternaria*,...) segregan toxinas y otras sustancias, las cuales producen la muerte de las células de la planta hospedante, alimentándose de los nutrientes que contienen. Tienen un amplio abanico de tipos de plantas a las que pueden atacar. Pueden considerarse oportunistas.
- Hemibiotrofos (*Septoria*, antracnosis, *Phytophthora*, *Pythium*, *Colletotrichum*, *Fusarium*..) tienen un periodo inicial en el cual se comportan como biotrofos y, finalmente, otro como necrotrofos.

- Saprofitos (*Colletotrichum*, *Fusarium*, *Septoria*, *Phomopsis*, *Aspergillus*), crecen sobre tejidos de plantas muertas y absorben nutrientes segregando enzimas hidrolíticas [58].
- Endófitos (*Colletotrichum*, *Xylaria*, *Epicoë...*), hongos que residen en el interior de los tejidos de la planta durante una parte o la totalidad de su ciclo de vida, sin producir síntomas visibles en la planta huésped [58].

Algunos de estos hongos u oomicetos presentan mas de una forma de vida.

En el ámbito de la Patología Vegetal, la planta parasitada suele denominarse huésped. Este término tiene un doble significado en el diccionario de la RAE, por un lado se refiere a la persona que se aloja en una casa ajena y, por otro, puede referirse a la persona que aloja en su casa a otra. De manera que, en el contexto que nos ocupa, tiene este segundo sentido. A veces, se utiliza el término hospedante u hospedero, en cuyo caso se evita la posible confusión.

Hasta el año 2010, en España, se habian descrito 638 patógenos de plantas [140], de los cuales un 17 % eran virus, un 2 % viroides, un 8 % bacterias, un 1 % mollicutes, un 64 % hongos (incluyendo oomicetos y plasmidioforomicetos), un 7 % nematodos y un 0,4 % plantas parásitas.

En Norteamérica, de los principales patógenos, un 82,4 % son hongos, un 10 % virus, un 5 % nematodos y un 2 % bacterias. [4].

Para una especie determinada, en un lugar concreto, el número de patógenos, no es demasiado elevado, por ej. en [4] se refiere que, en Norteamérica, al tomate le pueden atacar mas de 40 especies de hongos, 7 de bacterias y 16 de virus. En el cuadro 1.1 se muestra el número de enfermedades en publicaciones de referencia sobre Gestión Integrada de Plagas tanto en España ([134]) como en Estados Unidos ([214]).

En un área concreta, p. ej. del centro de España, en el ámbito de la jardinería, fruticultura y horticultura domésticas, las enfermedades mas comunes pueden estar en torno a 20 o 25, de las cuales las abióticas pueden suponer la cuarta parte, algunas de las cuales pueden verse con bastante frecuencia en cierta diversidad de plantas. Entre el 80 % de las enfermedades infecciosas normalmente encontradas, aproximadamente, un 80 % de ellas, pueden estar producidas por hongos y oomicetos.

	Tom.	Maiz	Meloc.	Vid	Olivo	Cereal
Hongos y O.	8-14	6-9	8-9	7-10	7-6	13-16
Bacterias y F.	4-5	1-2	3-3	4-2	1-1	0-1
Virus	5-8	3-1	1-0	2-1	0-0	0-1
Nematodos	1-1	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
Total	18-28	10-12	12-12	13-13	8-7	13-18

Cuadro 1.1. Numero de enfermedades infecciosas en publicaciones sobre Gestión Integrada de Plagas en España [134] y Estados Unidos [214] .

Capítulo 2

Síntomas y diagnóstico

2.1. Síntomas de la enfermedad

Referidos a una enfermedad, los síntomas son todos los cambios visibles en la apariencia de una planta o, si no lo son, que sean cambios detectables en el crecimiento, respecto de lo que es normal, de tal manera que puedan indicar o describir un problema de salud [4] [26], por ejemplo, clorosis en hojas. Con cierta frecuencia, la descripción de los síntomas no es una tarea fácil, por ello, tampoco es fácil para el especialista, cuando alguna persona no experta, le dice cuales son los síntomas que presenta una planta determinada y le pide un diagnóstico en base a ello.

Los signos se refieren a la visualización directa del agente que produce la enfermedad, por ejemplo, en el caso de los hongos, suelen considerarse las esporas y estructuras que las producen, también las características del micelio que es el conjunto de hifas que forma la parte vegetativa del hongo (Fig. 8.4).

Los síntomas son muchos y variados, pueden clasificarse en una serie de tipologías según diferentes autores [4] [168] [88] [26]. Se presentan, a continuación, algunos tipos característicos.

Agallas.

Porciones aumentadas o extendidas de organos de plantas (tallos, hojas, raíces o flores), además de por insectos y ácaros (Figs. 2.3 y 2.4), pueden ser producidas por nematodos (*Meloidogyne*, Fig. 5.1), hongos



Figura 2.1. Agalla en tuberculosis del olivo producida por bacterias (*Pseudomonas*).



Figura 2.2. Tumores en membrillero producidos por bacterias (*Agrobacterium*).

como *Exobasidium* en azalea, rododendros, hortícolas y plantas silvestres [133]. También pueden ser debidas a bacterias (p. ej. *Pseudomonas* en olivo, Fig. 2.1), y virus (P. ej. enanismo en arroz).

Alteración vascular.

Los patógenos se instalan y desarrollan en los vasos conductores de la savia, obstruyéndolos y produciendo marchitamiento, clorosis y muerte de ramas o de toda la planta entre otros síntomas externos [76]. Puede ser producida por hongos como *Verticillium* (en olivo, almendro, pistachero, entre otros, Figs. 2.5 y 2.6), *Fusarium* en tomate (Fig. 2.71) u *Ophiostoma* en olmo. También pueden producirlo bacterias como *Xylella* (en vid, olivo, almendro, entre otros) o *Xantomonas* (P. ej. en jacinto).

Amarillamiento u oscurecimiento de nervaduras.

Se observa a lo largo de los principales nervios de las hojas. Ciertas virosis presentan estos síntomas, pero también aparecen en determinadas carencias de nutrientes (Fig. 7.23).

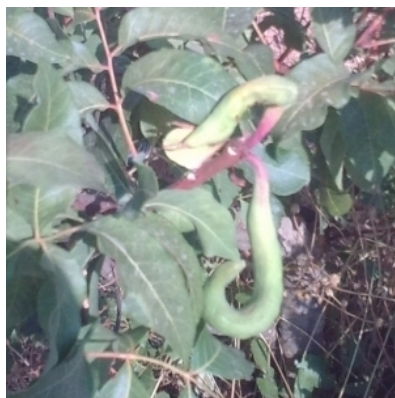


Figura 2.3. Agallas producidas por áfidos en cornicabra.



Figura 2.4. Agallas producidas por ácaros en peral.



Figura 2.5. Verticilosis en olivo.



Figura 2.6. Rebrote en olivo muy afectado por verticilosis.

Antracnosis.

Del griego «anthrax» (carbón). Se trata de manchas oscuras (como de carbón), marrones o bronceadas y en fases avanzadas puede presentar lesiones ulcerosas hundidas que pueden situarse en tallos, hojas, frutos o flores [4, 133]. Están producidas por ciertos grupos de hongos como *Diplocarpon* (Figs. 2.27 y 2.28, mancha negra del rosal), *Glomerella* (*Colletotrichum*, en muchas plantas anuales como judía, fresa, patata y perennes como hiedra, olivo o almendro), *Elsinoë* (en vid) o *Gnomonia* (en nogal y otros árboles forestales o de sombra como platanero). Usualmente, el hongo produce esporas (conidias) en pequeños acérvulos negros. En algunos casos se forman chancros en tallos (p. ej. platanero) y ramas.

Caída de acículas en coníferas.

Cuando se produce en hojas jóvenes, puede deberse a hongos, carencias nutricionales o toxicidad.

Caída anormal de hojas.

Puede ser debido a insectos o condiciones ambientales adversas (aridez), pero también puede suceder por la acción de patógenos como bacterias u hongos como *Spilocaea Oleagina* (repilo del olivo).

Chamuscado o muerte regresiva.

El chamuscado es un pardeamiento rápido y generalizado con muerte de hojas brotes, tallos, ramas y órganos florales. Puede ser debido a causas abióticas o bióticas, como hongos de los géneros *Monilia* (Figs. 2.52 y 2.51) o *Alternaria* u oomicetos como *Phytophthora*.

La muerte regresiva se produce en brotes y tallos, progresando desde el extremo hasta la base. Puede deberse a hongos o a bacterias como es el caso de *Erwinia Amylovora* (fuego bacteriano) o *Pseudomonas syringae* (Figs. 2.7 y 2.8).

Chancro.

Lesión necrótica agrietada o hundida en una rama, tallo o el propio tronco. Su crecimiento puede llegar a rodear todo el contorno y producir un «anillado» que conlleve a la muerte de la parte afectada, puede



Figura 2.7. Bacteriosis en membrillero.



Figura 2.8. Bacteriosis en peral.

deberse a la acción de patógenos bacterianos como *Brenneria* en quercíneas, o *Clavibacter* en tomate. También puede ser debido a hongos como *Nectria* en frutales de pepita, *Fusicoccum* (Fig. 2.10), *Cryptodiaporthe* en chopo, *Cytospora* en melocotonero, *Didymella* en cucurbitáceas, *Fusarium* en pino o *Leptotyphlops* en cupresáceas. Su origen también puede ser de tipo abiótico, por ejemplo un daño mecánico o de otro tipo (Figs. 2.11 y 2.12).

Clorosis.

Amarilleamiento o pérdida de color en tejidos normalmente verdes, debido a la destrucción de clorofila. Puede ser debido a insectos o patógenos de diversa naturaleza, pero también a causa de desórdenes ambientales. Ver Figs. 7.23, 7.28 y 7.29.

Colapso de plántulas (damping-off).

Enfermedad conocida como mal de los semilleros, puede ser debida a *Pythium* u hongos como *Botrytis*, *Fusarium* o *Rhizoctonia*.



Figura 2.9. Cribado en almendro (Wilsonomyces).



Figura 2.10. Chancro del almendro (Fusicoccum).

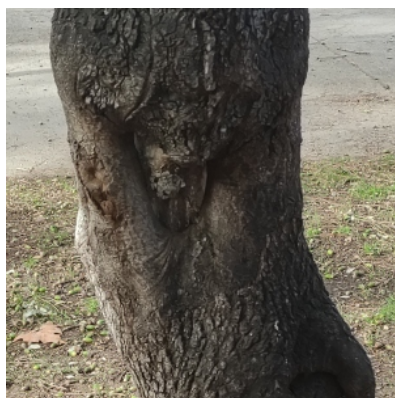


Figura 2.11. Chancro en tronco de encina.



Figura 2.12. Chancro en tronco de alcornoque.

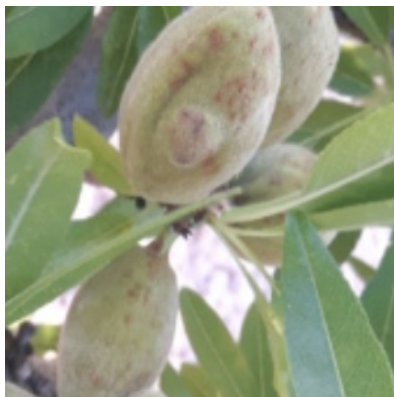


Figura 2.13. Deformacion de fruto por Taphrina en almendro.



Figura 2.14. Deformacion de hoja en durillo.

Costra.

Se trata de lesiones localizadas en órganos de la planta, pueden estar ligeramente hundidas o elevadas en relación a su superficie. También se le llama roña. Tienen una textura rugosa, seca y áspera al tacto por resquebrajaduras del epitelio. Pueden producirlo bacterias como *Streptomyces* u hongos como p. ej. *Venturia*.

Decaimiento.

Pérdida progresiva de vigor a lo largo del tiempo. Puede ser producido por muchos factores, de tipo bacteriano, fúngico o ambiental usualmente actuando de forma combinada. Un ejemplo es el decaimiento del peral y membrillero, producido por un fitoplasma (*Phytoplasma pyri*).

Deformación foliar.

Distorsiones en el tamaño y la forma de las hojas respecto de su apariencia normal (Fig. 2.14). Puede deberse a insectos, ácaros, virus (P. ej. *TYLCV* en tomate), bacterias u hongos como *Taphrina* (Figs. 2.16 y 2.13), pero también a circunstancias particulares como toxicidad (Fig. 7.28).

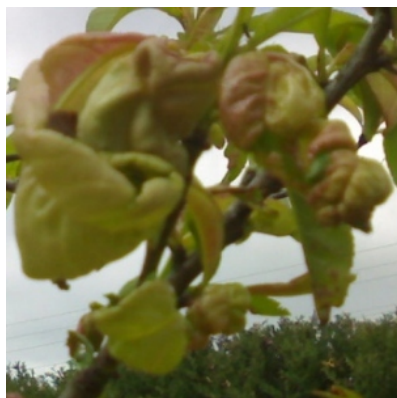


Figura 2.15. Abolladura en nectarino.



Figura 2.16. Abolladura en melocotonero.



Figura 2.17. Gomosis en la base del tronco de almendro.



Figura 2.18. Gomosis en frutos de almendro producida por cribado.

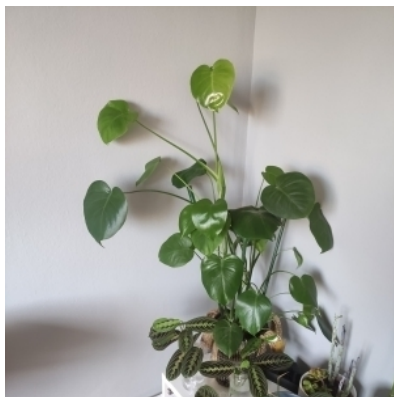


Figura 2.19. Falta de iluminación en Monstera, no así para la Maranta que se encuentra junto a ella que vejeta adecuadamente en ese lugar.

Figura 2.20. Falta de iluminación en Dracaena.

Enanismo.

Casi todos los virus pueden producir enanismo o retraso en el crecimiento. P. ej. virus del enanismo en trigo (*WDV*). Los nematodos también producen retrasos en el crecimiento.

Escoba de brujas.

Profusa ramificación de tallos dirigida hacia arriba. Se produce en plantas leñosas. Puede ser debida a organismos diversos, incluidos insectos, hongos (*Melampsora*, *Moniliophthora*), phytoplasmas o virus. Los nematodos también pueden producir excesiva ramificación de raíces.

Etiolación.

La falta de iluminación en plantas, hace que se produzcan tallos alargados y débiles, lo que puede ir acompañado de clorosis y otros síntomas (2.19 y 2.20).



Figura 2.21. Negrilla (Capnodium) sobre palmera.

Figura 2.22. Negrilla sobre pitósporo.

Fumagina o negrilla.

Coloración oscura sobre la superficie de hojas y frutos, debida al crecimiento de hongos (p. ej. *Capnodium*) sobre la melaza que producen ciertos insectos como pulgones, cochinillas, psilas, etc. (Figs. 2.21 y 2.22).

Gomosis.

Producción y acumulación de savia en la superficie del tronco, ramas, tallos y frutos. Se considera un mecanismo de defensa de la planta frente a estrés de naturaleza biótica o abiótica [33]. El oomiceto *Phytophthora* lo produce en plantas leñosas como manzano, frutales de hueso, ornamentales, olivo, vid o castaño de indias y herbáceas, como espárrago, zanahoria, espinaca, patata, garbanzo, remolacha o coles [133]. También puede ser producida por bacterias (*Pseudomonas*) y hongos como *Botryosphaeria* en melocotonero. Insectos como los barrenillos también pueden producir gomosis. Ver Figs. 2.17 y 2.18.

Manchas foliares.

Lesiones en hojas, localizadas y con tejido necrótico. Las manchas pueden tener tamaños diferentes, en el caso de las producidas por hongos tienen forma redondeada y no están limitadas por nervaduras. Las



Figura 2.23. *Alternaria* en acelga.

Figura 2.24. *Alternaria* en pistachero.

producidas por bacterias tienen aspecto más angular debido a que están limitadas por dichas nervaduras. Ver Figs. 2.23, 2.24, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.9 y 2.31.

Marchitamiento.

Pérdida generalizada de turgencia con decaimiento de hojas y brotes. Se debe a una pérdida de agua, a veces por la obstrucción de los vasos leñosos, por bacterias u hongos como *Fusarium* o *Verticillium* [76]. También se produce por la destrucción total o parcial de las raíces debido a la acción de nematodos u hongos como *Armillaria*, *Phytophthora* o *Pythium*. La falta de agua en el suelo por sequía, también produce marchitez (Figs. 2.32 y 2.33).

Mildiu.

Crecimiento superficial, con aspecto agodonoso por micelio y esporas generalmente en el envés de las hojas. Se produce por oomicetos como *Bremia* (lechuga), *Plasmopara* (vid), *Peronospora* (cebolla, acelga, remolacha, rosál, crucíferas, leguminosas), *Pseudoperonospora* (cucurbitáceas) o *Phytophthora* (patata, tomate, judía). Ver Figs. 2.34 y 2.35.



Figura 2.25. Manchas por Septoria en pistachero.

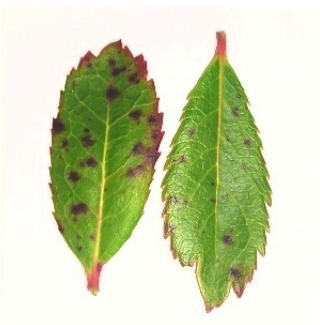


Figura 2.26. Manchas foliares por Septoria en Madroño.



Figura 2.27. Diplocarpon en rosal.

Figura 2.28. Detalle de mancha de Diplocarpon en rosal, pueden apreciarse los pequeños acérvulos.



Figura 2.29. Entomosporium en Photinia.

Figura 2.30. Detalle de Entomosporium en Photinia.



Figura 2.31. Mancha ocre (Polystigma) en almendro.



Figura 2.32. Marchitamiento por falta de riego.



Figura 2.33. Marchitamiento en pitosporo.



Figura 2.34. Mildiu en calabaza.



Figura 2.35. Detalle de mildiu en el envés de hoja de calabaza.



Figura 2.36. Virosis en rosal.



Figura 2.37. Virosis en tomate.

Mosaicos y patrones anulares en hojas.

Se producen alternando zonas amarillas y verdes, son el tipo mas comun de infecciones sistémicas producidas por virus[4], como el *BBWV* en pimiento y haba, *BCMV* en judias, *ApMV* en frutales, *BYMV* en ornamentales y leguminosas o *AMV* en rosal (Fig. 2.36), [133].

Mucilago.

Ciertos protozoos mixomicetos presentan un aspecto viscoso característico, como *Mucilago* (Figs. 2.38 y 2.39).

Muerte apical en hojas.

Con frecuencia, la muerte de las puntas y los margenes de hojas, indican malas condiciones ambientales, bien sea en el ambiente aéreo (temperie) y/o en el suelo (tempero), pudiendo ser debido a aridez, exceso de salinidad, toxicidades u otros (Fig. 7.16, 7.15y 7.17).

Muerte de la copa de árboles y arbustos.

Puede ser en la totalidad de la copa (Figs. 2.40 y 2.41) o en una parte de ella (Fig. 2.42). Hay que sospechar de un problema en las raices como p. ej. por oomicetos como *Phytophthora*, u hongos como *Armillaria*,



Figura 2.38. Fructificación de *Mucilago crustacea*.

Figura 2.39. Detalle de *Mucilago crustacea*.

Verticillium (Fgs. 2.5 y 2.6) [76] o *Eutypa* . También puede ser debido a adversidades meteorológicas extremas como heladas o sequías (Fig. 7.30).

Oidio.

Los oidios son, probablemente las enfermedades de plantas mas conocidas, mas abundantes y mas facilmente reconocibles. Afectan a todo tipo de plantas, salvo a las gimnospermas [4]. Se muestran en hojas, tallos, flores y frutos, que aparecen recubiertos por un micelio blanquecino con las fructificaciones del hongo. Se produce por hongos erylspiales como *Uncinula necator* en vid, *Sphaeroteca pannosa* en rosal, *Erysiphe graminis* en cereales o *Podosphaera leucotricha* en frutales de pepita . Ver Figs. 8.3, 8.4, 2.45, 2.46, 2.47, 2.48, 2.49 y 2.50.

Podredumbre del cuello o raiz.

Puede ser debido a una afección parcial o generalizada del sistema radicular de la planta, por ejemplo a causa de hongos u oomicetos como *Pythium*, *Phytophthora* o *Armillaria*.



Figura 2.40. Muerte de almendro.



Figura 2.41. Muerte de ficus en interior.



Figura 2.42. Muerte de gran cantidad de ramas en olivos por verticilosis.



Figura 2.43. Muerte de ramas en vid por Eutypa.

Figura 2.44. Eutypa en sección de tronco, puede acabar muriendo toda la cepa.

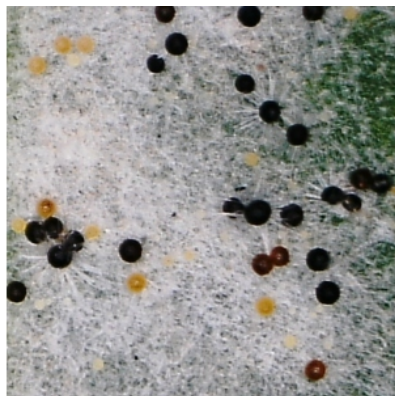


Figura 2.45. Oidio del chopo.

Figura 2.46. Cleistotecios en oidio del chopo.



Figura 2.47. Síntomas de oidio en hoja de vid.



Figura 2.48. Síntomas de oidio en sarmiento de vid.



Figura 2.49. Oídio en calabacín.



Figura 2.50. Oídio en evónimo.



Figura 2.51. *Monilia* en cerezo.



Figura 2.52. *Monilia* en almendro.

Podredumbre seca y húmeda.

Maceración y desintegración de tejidos en frutos, raíces, bulbos, tubérculos u hojas tiernas (Fig. 2.55). Puede producirse por la acción de bacterias (P. ej. *Pectobacterium*) u hongos como *Monilia* (Fig. 2.52), *Botrytis* (Fig. 2.53), *Penicillium* (Figs. 2.54), *Sclerotinia* o *Aspergillus*.

Roya.

Muchas pequeñas lesiones en hojas o tallos, normalmente de color rojizo-amarillento. Puede ser debido a hongos basidiomicetos como *Puccinia* (ajo, cebolla, puerro, crisantemo, geranio y frutales de hueso) o *Uromyces* (judía, remolacha y haba). La conocida como falsa roya blanca la producen oomicetos del género *Albugo* en col, girasol y rábano [133]. Ver Figs. 2.56 y 2.57.

Tizón o caries.

Se produce en cereales, como el trigo. Aparece como semillas o agallas rellenas con el micelio o esporas oscuras del hongo. Pueden producirlo basidiomicetos como *Tilletia* sp..



Figura 2.53. Botrytis sobre rosas.

Figura 2.54. Micelio de Penicillium sobre naranja.



Figura 2.55. Crecimiento de hongos sobre almendras con la consiguiente presencia de toxinas.



Figura 2.56. Roya en malva.

Figura 2.57. Detalle de roya sobre malva mostrando las estructuras que contienen las esporas.

Tumores.

Pueden ser producidos por protozoos como *Plasmodiophora* en raíces, bacterias como *Agrobacterium* en raíces, pero también en tallos u hongos como es el caso de *Urophlyctis* (*Physoderma*) en raíces de alfalfa o de remolacha, también de *Ustilago* en tejidos de crecimiento rápido en maíz. También algunos virus pueden producir tumores en heridas [4] (Figs. 2.2 , 2.58 y 2.59).

Verrugas.

Protuberancias que pueden producirse en tallos o raíces por hongos como *Synchytrium*. Los nematodos (*Meloidogyne*) también pueden producir nódulos en raíces [44].

2.2. Diagnóstico de enfermedades

El diagnóstico de una enfermedad se refiere a la identificación de la naturaleza y la causa de dicha enfermedad y, por tanto, se aplica a aquellas plantas que muestran algún tipo de sintomatología. Cuando aparece un problema en las plantas, es fundamental hacer un diagnóstico correcto sobre el tipo de problema de que se trata, ello, con el fin

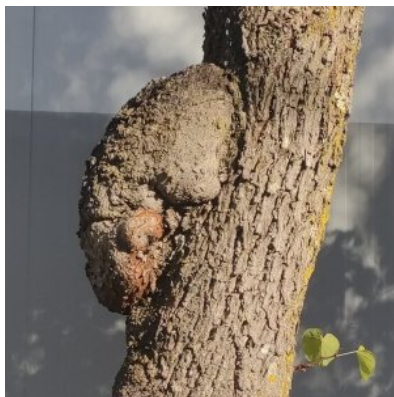


Figura 2.58. Tumor en tronco de Cercis.



Figura 2.59. Tumores en tronco de acacia.

de tomar las medidas de control adecuadas. Pero hay que tener presente que, cuando nos preguntamos sobre la causa del problema en una planta, la respuesta no siempre es sencilla (Fig. 2.60).

A continuación se hacen una serie de observaciones referidas, en primer lugar al propio agricultor o propietario de la planta o plantas enfermas, en segundo lugar se considera la eventual actuación del técnico o asesor y finalmente se tiene en cuenta el posible recurso a un laboratorio especializado.

Los propios agricultores (propietarios, jardineros) pueden ser capaces de diagnosticar el problema por inspección y conocimiento de antecedentes de cultivos, clima, meteorología, etc. esto sucede con frecuencia particularmente cuando se conoce bien la incidencia de ciertas enfermedades en determinadas áreas y cultivos. Se requiere que el agricultor sea buen observador y conocer el aspecto normal de la planta en lo que respecta a hojas, tallos, frutos y raíces. Deben de tenerse en cuenta antecedentes del cultivo, además del origen de las semillas o plantas utilizadas, fertilización (abonos utilizados y dosis), tratamientos realizados (productos y dosis) y meteorología reciente, de todo lo cual, quien mejor conocimiento tiene es la persona que cultiva las plantas. Se debe de tener en cuenta, cualquier cambio que se haya realizado en el manejo del cultivo, o incluso en los referidos a una maceta, si es el caso. Es importante observar el patrón de distribución superficial

de los daños que se observan, si se producen en toda la parcela mas o menos por igual, si se ajustan a los tipos de suelo presentes, a exposiciones fisiográficas, a sectores de riego,...etc. Es importante, en el caso de ejemplares aislados ver si los síntomas se encuentran en la parte superior, en las ramas mas bajas y menos aireadas, o bien se producen en determinadas orientaciones (mayor exposición a la insolación, al frío,...). Todo lo anterior puede ayudar a determinar si la causa es de tipo abiótico o de tipo infeccioso, aunque siempre hay que tener presente que, el problema en cuestión, puede originarse por diferentes causas (de uno y otro de los dos grupos citados).

En lo que respecta a ayuda externa, el proceso comienza con una solicitud del agricultor dirigida a un tecnico, asesor o especialista. A partir de la solicitud, tienen lugar una serie de etapas que se producen sucesivamente [204, 210, 114], de tal manera que, en lo que respecta al diagnóstico, se van estrechando las posibilidades y, si en algun momento dicho diagnóstico queda claro, el proceso termina. Las fases o etapas, distribuidas de una u otra forma, son las que se indican a continuación.

En primer lugar corresponde identificar la especie y preguntar la variedad o cultivar de que se trata. Incluso antes de ir al campo, puede hacerse (por parte del técnico) alguna consulta en publicaciones especializadas, sobre los patógenos y enfermedades abióticas que pueden afectar a la especie en cuestión y, si se dispone de alguna descripción o fotografía previa, ir formandose un juicio al respecto. Una vez en el campo, con el agricultor, se observa el lugar (entorno, fisiografía, orientación), así como tipos de suelo, su distribución y características como color, textura y drenaje (Figs. 2.61, 2.62 y 2.63), no hay que olvidar que el problema puede estar relacionado con las características particulares del suelo y, por ello, se debe de tomar una muestra del mismo lugar donde se presenta dicho problema. Se debe de preguntar, en su caso, la frecuencia de riegos y las dosis que se aplican. Informarse sobre tratamientos realizados, con época de realización, tipos de productos y dosis, al igual que los abonos aplicados tanto al suelo como a la hoja. Observar características de la plantación (marco, densidad), en el caso del arbolado, observar también la configuración de los árboles y el tipo de poda. Anotar cualquier detalle que pueda ser útil.

En lo que respecta al recurso a un servicio de diagnóstico, al que hay que remitir muestras, tales servicios suelen disponer de su propio protocolo para recogida y envío de muestras, en cuyo caso, hay que hacerlo conforme a las indicaciones que den al respecto. No obstante se exponen a continuación algunas observaciones basadas en la propia

experiencia y en recomendaciones de expertos [204, 210]. La muestra debe de ser representativa del problema, adecuada en tamaño, hay que procurar que las lesiones muestren diferentes grados de desarrollo. Para un caso típico de manchas foliares, incluir 20 hojas suelen ser suficientes, pero pueden ser menos si las hojas son grandes con muchas manchas. En otros casos, se necesitan plantas completas. Para pequeñas plantas de semillero, se pueden tomar entre 15 y 20 plantas, dependiendo del tamaño. En plantas adultas, como tomates, pimientos, berenjenas, suele recomendarse tomar un ejemplar. En el caso de árboles que no sean manchas foliares, tomar secciones. En césped, tomar una porción de unos 20x20 cms y 6 o 7 cms de profundidad. Enpaquetar adecuadamente la muestra, incluyendo la de suelo, para que se conserve fresca el mayor tiempo posible, meter en bolsas de plástico para proteger del calor y la humedad. Poner material para acolchado, en la caja de las muestras, con el fin de prevenir daños en el transporte y procurar que llegue lo antes posible al laboratorio, una vez allí, conservar en refrigerador o en lugar fresco.

Una vez que, con uno u otro origen, las muestras están en el laboratorio, se suelen realizar, de forma secuencial, las operaciones que siguen [204, 210, 114].

- Examen de la planta. A simple vista, sin aumentos, observando síntomas y buscando signos. Ello en sus diversas partes, hojas, tallos, tronco, ramas, flores, frutos, raíces (principales, superficiales).
- Consulta de referencias documentales. En relación con la planta huésped y posibles enfermedades, consultar bibliografía o bases de datos de autores reconocidos y organismos de referencia en el ámbito de la sanidad vegetal (P. ej. [133], [134], [70], [140], [54], [12], [59], [3]). En esta fase, puede obtenerse un posible diagnóstico.
- Observación de muestras con pocos aumentos. Suelen ser inferiores a 60X y utilizarse lupa la cual puede presentar diferentes formatos, como las de tipo binocular, con formación directa de imágenes, etc. Observar detalles de la lesión, evidencia de esporas o fructificaciones, exudado (color, consistencia), presencia de insectos o ácaros, evidencia de daños mecánicos o químicos. Tomar fotografías (Figs. 2.66, 2.67).
- Montaje para observación con microscopio. Se necesitan cubreobjetos, portaobjetos y, con frecuencia, algún tipo de tinción, una

de las mas usadas para hongos es el azul de lactofenol. En el montaje por disección se se toma una muestra de la superficie del crecimiento del hongo, dicha muestra debe de ser muy pequeña para permitir una mejor visualización y se sitúa sobre un portaobjetos con una gota de la tinción, con ayuda de dos agujas se extiende dicha muestra y se cubre con un cubreobjetos (Fig. 2.72). En el montaje con cinta adhesiva, se utilizan unas pinzas para sostener una tira de dicha cinta, se sitúa sobre la superficie del crecimiento del hongo, se presiona para que se adhiera una muestra del micelio, se sitúa sobre un portaobjetos con una una gota de la tinción, se empapa la muestra, posteriormente puede cubrirse con un cubreobjetos o bien adherir los extremos de la cinta al portaobjetos.

- Observación con microscopio óptico [226]. El número de aumentos suele variar entre 40X y 1000X. Hacer observaciones y fotografías del micelio, estructuras de fructificación, conidios y conidióforos. (Figs. 2.68, 2.69, 2.70 y 2.71). Para la identificación de hongos mediante este tipo de microscopio, en base a las estructuras y esporas que se observan, es necesario el uso de Atlas y otras publicaciones de referencia [221, 22, 179, 138, 223, 180]. En 1896, P. A. Sacardo, realizó una clasificación de cuerpos fructíferos y, particularmente de conidios, basándose en la forma, color y presencia de septos, hoy día sigue siendo una referencia fundamental [178].
- Determinación del pH del suelo. Se toman 25 cc de agua destilada a la cual se añaden 10 grs. de tierra fina. El valor obtenido, puede ser indicador de posibles patologías (Figs. 2.64 y 2.79).
- Test de exudado bacteriano. En plantas herbáceas (P. ej. tomate) puede realizarse este tipo de prueba, si las observacion de los síntomas así lo aconseja. Cortar un tallo infectado por su base, dividirlo longitudinalmente y observar posibles decoloraciones. Sumergir el corte, verticalmente, en un vaso de agua, sujetarlo de alguna manera al borde del mismo, de forma que quede suspendido, con su extremo inferior a cierta distancia del fondo. Observar si se produce un exudado lechoso saliendo del corte del tallo. Si es así, la planta está infectada.

Si en las operaciones anteriores no se tiene un diagnóstico, pueden hacerse mas ensayos, entre ellos, se encuentran los que se indican a continuación.

- Medida de la conductividad eléctrica del suelo. Esta medida proporciona una indicación sobre la cantidad de iones presentes en la solución y, por tanto, del grado de salinidad del suelo (Fig. 2.79). Lo cual puede ser origen de patologías para las plantas (Figs. 7.14 y 7.15). Con frecuencia se mide sobre una solución suelo/agua 1:2,5 , igual que la del pH.
- Incubación en cámara húmeda. Se trata de un contenedor cerrado de cristal (placa de Petri) o bolsa de plástico en el cual se sitúa papel de filtro humedecido, su fin es producir un ambiente con alta humedad relativa, sin exponer la muestra a la acción directa del agua. Con ello se estimula a los hongos para producir esporas, bien en cuerpos de fructificación o en hifas especializadas . Tras la incubación pueden hacerse nuevas observaciones al microscopio, como las citadas anteriormente (Fig. 2.72).
- Realización de cultivos de hongos para aislamiento. Se cortan pequeñas secciones de tejido infectado, p. ej. de las manchas de las hojas, de manera que parte de la muestra esté en el interior de la mancha y otra parte en el exterior, a continuación se sumergen en una solución de hipoclorito sódico, tras lo cual se lavan con agua esterilizada, se les deja secar y se sitúan en un medio estéril de cultivo en placas de Petri. Las placas se mantienen a una temperatura adecuada (en torno a 20-25 °C) durante varios días, con examen visual diario (Figs. 2.73 y 2.74). Posteriormente puede hacerse una inoculación del micelio en una nueva placa de Petri para ver el crecimiento. Existe varios medios de cultivo para hongos, uno de los mas usados es el de agar, dextrosa y patata (PDA, por sus siglas en ingles). Con el fin de inhibir el crecimiento bacteriano, dicho medio se puede complementar con ácido o con antibióticos . El crecimiento de los hongos en las placas puede ser muy distintivo (Figs. 2.75, 2.76), también se realizan observaciones al microscopio (Figs. 2.77, 2.78). Siempre hay que tener cuidado para asegurar que se trata del patógeno de interés y no de otros hongos oportunistas. Se hacen nuevas consultas a atlas y documentación de referencia, sobre estructuras y esporas, teniendo en cuenta lo observado.
- Microcultivo de hongos sobre cuadrado de agar. Es una técnica idónea para observar conidióforos con mínima alteración. En un portaobjetos se sitúa un cuadrado (0,5x0,5 cms) del medio de cul-

tivo (PDA), se inocula por los cuatro lados con el hongo a estudiar y encima se sitúa un cubreobjetos. A continuación se introduce el conjunto en una placa de Petri que tiene en su base papel filtro humedecido y, para evitar el contacto directo del portaobjetos con el agua, se sitúa sobre unas varillas de vidrio u otro material, esterilizadas. Transcurrido un tiempo de incubación (24-48 h.), se retira el agar con la muestra y se observa al microscopio, utilizando los restos que han quedado sobre el cubreobjetos y sobre el portaobjetos, añadiendo la tinción correspondiente en cada uno de ellos y procurando hacer la menor alteración. Nuevamente se consultan manuales y documentación.

- Utilización de técnicas serológicas [42, 85, 41, 21, 40]. Una de ellas es ELISA (Ensayo por Inmunoabsorción Ligado a Enzimas, por sus siglas en ingles), que es la mas usada. Se basan en la reacción entre antígenos, que son sustancias ajenas a un organismo (generalmente proteínas) y anticuerpos, que son moléculas producidas por el organismo en respuesta a la presencia de tales sustancias extrañas. Básicamenete, esta técnica, utiliza un conjunto de portamuestras (pocillos), en cuyo fondo se encuentra determinado anticuerpo correspondiente al antígeno que se quiere detectar y en los cuales se introduce la muestra de interés. Conjugada con el anticuerpo, se utiliza una enzima que va a permitir un cambio de coloración si el resultado es positivo. Una modalidad de este tipo de técnicas se basa en el uso de tiras diagnósticas de flujo lateral, en las cuales, la reacción antígeno-anticuerpo, se produce en un filtro de nitrocelulosa o nailon por el cual fluye la muestra apareciendo, en su caso, una linea coloreada. La prueba puede hacerse por personal no especializado y el resultado estar disponible en unos minutos . Este último tipo de dispositivos se ha popularizado mucho a consecuencia de la pandemia de Covid-19 (Fig. 2.65).
 - Identificación del ADN (ácido desoxirribonucleico [224]) para patógenos específicos. Una forma es comparar la compatibilidad (hibridación) de una cadena simple del ADN, procedente del patógeno objeto de estudio, con otra cadena simple, procedente del ADN de un patógeno conocido. La técnica PCR (reacción en cadena de la polimerasa) está disponible para estos estudios y es particularmente útil en el caso de muy pequeñas muestras de ADN . En este caso, se utilizan dos cadenas simples del ADN (oli-
-

gonucleótidos) conocidas como iniciadores o cebadores (primers) para delimitar, por sus dos extremos, el fragmento de ADN del patógeno que se quiere extraer y multiplicar para su análisis, éste puede ser un gen, una parte de un gen o una región no codificadora. Además del ADN del patógeno y de los cebadores es necesario introducir, en un tubo de reacción, los cuatro tipos de desoxirribonucleótidos que componen el ADN (procedentes la unión de la desoxirribosa y el ácido fosfórico con las bases adenina, guanina, timina y citosina). A lo anterior se une la enzima ADN polimerasa, particularmente la Taq-polimerasa, la cual procede de la bacteria *Thermus aquaticus* y que tiene la particularidad de ser termoestable. A continuación tienen lugar tres fases, asociadas a cambios de temperatura mediante las cuales se produce una desnaturalización del ADN (separación en dos cadenas simples), un alineamiento (los cebadores se adhieren a la plantilla de ADN) y una extensión (la cadena de ADN es producida por la polimerasa). De esta manera, el fragmento de interés se reproduce, gran número de veces, mediante ciclos de temperatura, utilizando equipos conocidos como termocicladores (Fig. 2.80). Las aplicaciones de esta técnica son un campo muy dinámico en el presente [85, 21, 212, 84, 128].

- Prueba de patogenicidad o postulados de Koch. Si el organismo sospechoso de producir los síntomas no ha sido reportado con anterioridad, entonces se realiza una prueba de patogenicidad, aplicando los postulados de Koch. Tales postulados se refieren a una serie de procesos y condiciones que se deben a a Robert Koch, el cual los estableció a finales del siglo XIX y son los que siguen [4]. En primer lugar, el agente causal debe estar presente en cada organismo enfermo examinado (en este caso una planta). En segundo lugar, el agente causal debe de ser aislado del individuo enfermo y cultivarse en cultivo puro. En tercer lugar, cuando un cultivo puro del organismo causal sospechoso se inocular a un individuo sano susceptible, debe reproducirse la enfermedad. Finalmente, el mismo agente causal debe de ser aislado nuevamente del organismo experimentalmente inoculado y presentar las mismas características del paso dos.

En el ámbito de la Administración Pública incluyendo algunas universidades, existen laboratorios que ofrecen diagnóstico e identificación de patógenos vegetales, con diferentes técnicas que pueden ser micro-

biológicas con microscopía, moleculares o inmunológicas. Los precios los fija la administración correspondiente, generalmente autonómica y aparecen en boletines oficiales.

También hay empresas particulares con implantación regional que ofrecen servicios de identificación utilizando diversas técnicas y opciones como las siguientes, PCR, ELISA, cultivo en cámara y microscopía u otros procedimientos.

Los laboratorios de análisis, podrán ofrecer mas o menos opciones, dependiendo de diversos factores como su entidad, localización, filiación, etc. pero hoy, las empresas que se dedican a producir equipamiento y productos para análisis, ofrecen ya bastantes posibilidades, particularmente con técnicas ELISA y PCR para virus y bacterias. A título de ejemplo, una de tales empresas [65] ofrece los siguientes productos y equipos:

- Sueros con anticuerpos, antígeno-específicos para ELISA (171 virus, 26 bacterias, 4 Hongos).
 - Iniciadores, polimerasa, agua y buffer para PCR (16 bacterias, 3 virus, 5 fitoplasmas y 2 hongos).
 - PCR en dos formatos (28 virus y 2 bacterias).
 - Pruebas rápidas de flujo lateral (16 virus, 8 bacterias y 2 hongos).
-



Figura 2.60. ¿Qué le pasa a esta planta y cómo puedo corregirlo?. La respuesta puede no ser sencilla, generalmente no es inmediata y pudiera necesitarse cierto número de datos y procesos complejos para precisarlo



Figura 2.61. Variabilidad superficial del suelo, son claramente visibles los efectos de la erosión.

Figura 2.62. Perfil de suelo en la provincia de Toledo, en este caso muy degradado. En las operaciones de diagnóstico, pueden apreciarse características y tomar muestras del mismo.



Figura 2.63. Estimación de la textura en campo.



Figura 2.64. Tiras de pH para estimación en campo.

Figura 2.65. Dispositivo con tira de flujo lateral para test rápido de antígenos.



Figura 2.66. Cámara macro portátil.

Figura 2.67. Imagen de micelio tomada con cámara macro y unos 10X.



Figura 2.68. Microscopio simple digital.

Figura 2.69. Imagen de micelio tomada con microscopio simple digital y unos 100X.

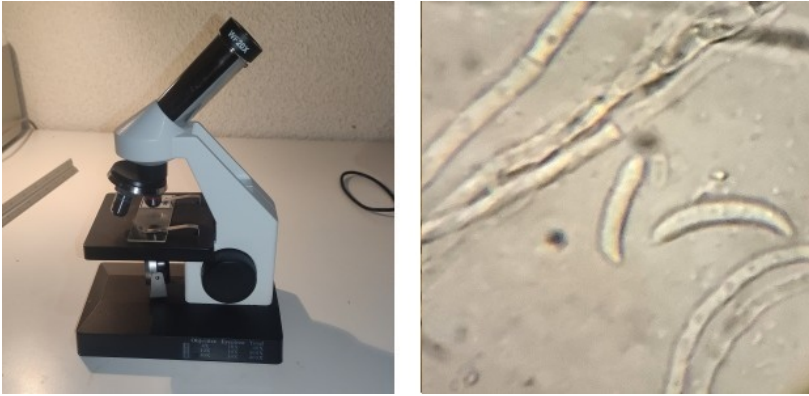


Figura 2.70. Microscopio compuesto.

Figura 2.71. Imagen de hifas y macroconidios de Fusarium tomada con microscopio compuesto.

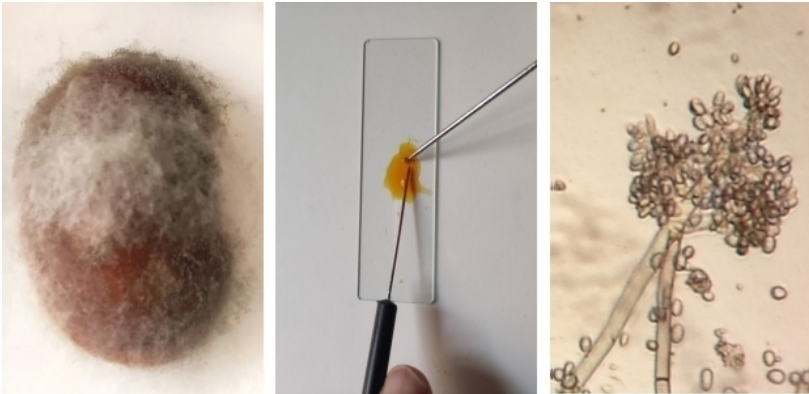


Figura 2.72. Secuencia de identificación de Botrytis: utilización de cámara húmeda, preparación de muestra por disección y observación al microscopio.

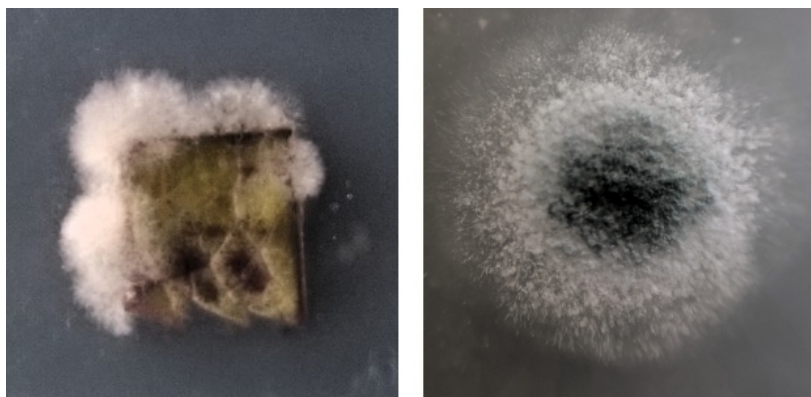


Figura 2.73. Aislamiento de hongos. Sección de hoja de madroño, con manchas de Septoria, situada sobre medio de cultivo. En los bordes de la muestra aparece el micelio que se va desarrollando progresivamente.

Figura 2.74. Aislamiento de hongos. Crecimiento de Penicillium sobre medio de cultivo, 2 días tras la siembra y 7 mm. de diámetro.

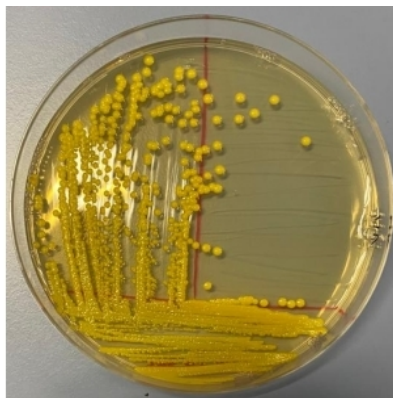


Figura 2.75. Cultivo de Alternaria, durante siete días a temperatura ambiente.

Figura 2.76. Colonias de bacterias en placa de Petri. Fotografía cortesía del laboratorio de microbiología de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid .

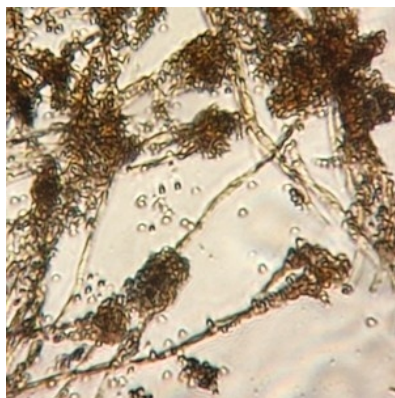


Figura 2.77. Conidióforos de Penicillium.

Figura 2.78. Conidios de Alternaria.



Figura 2.79. Peachímetro y conductímetro. Fotografía cortesía del laboratorio de edafología de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid.



Figura 2.80. Termociclador para PCR. Fotografía cortesía del laboratorio de bioquímica de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid.

Capítulo 3

Mixomicetos , plasmodioforomicetos y oomicetos fitopatógenos

3.1. Mixomicetos

Con frecuencia, se incluye a los mixomicetos y plasmodioforomicetos entre los hongos, ya que, en las plantas que parasitan, pueden producir síntomas parecidos a los de aquéllos, pero, en realidad pertenecen a otro reino (protozoos).

Los mixomicetos (hongos mucilaginosos) tienen aspecto de amebas que pueden unirse entre sí y formar masas de cierto tamaño conocidas como plasmodios. Las formas móviles (zoosporas) de estos organismos poseen dos flagelos, mediante los que se desplazan en medios líquidos, se alimentan por ingestión (fagocitosis) de bacterias, levaduras, micelio de hongos o esporas, la ingestión va seguida de digestión en vacuolas celulares. Los plasmodios son masas de protoplasma, con muchos núcleos, sin paredes celulares entre ellos [225], el tamaño puede ser muy variable, desde microscópico hasta claramente visible (faneroplasmoidios), ver Fig. 3.1. Los mixomicetos producen enfermedades en plantas, creciendo directamente sobre ellas, pero no las infectan. Se encuentran mas frecuentemente en ambientes húmedos y lluviosos. Se citan especies de los géneros, *Physarum*, *Fuligo* y *Mucilago* (Figs. 2.38 y 2.39) del orden Physarales, que son saprófitos y que pueden afectar negativamente

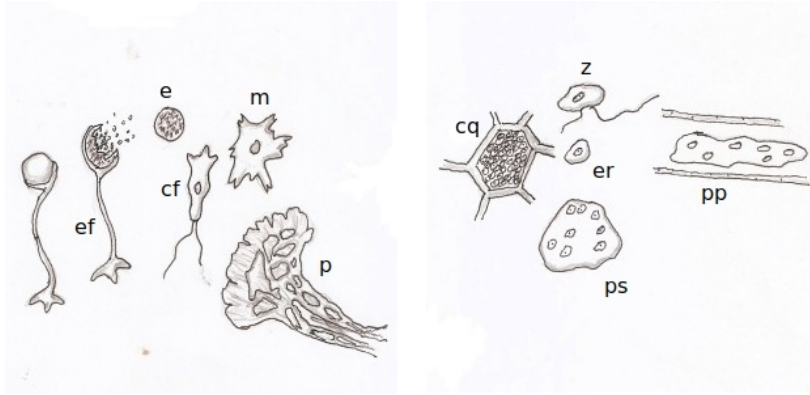


Figura 3.1. Mixomicetos, ef: esporóforos, e: espora, m: mixameba, cf: célula flagelada, p: plasmodio [118].

Figura 3.2. Plasmodioforomicetos, cq: célula de la raíz con quistes, er: espora de resistencia, z: zoospora, pp: plasmodio primario en pelo radicular, ps: plasmodio secundario en suelo y despues en célula de la raíz [126].

a las plantas [4] [118].

3.2. Plasmodioforomicetos

Los plasmodioforomicetos también tienen zoosporas biflageladas. Son parásitos obligados que penetran en el interior de las células de la planta a través de los pelos radiculares, de manera que la membrana de la ameba se encuentra en contacto directo con el citoplasma de la célula huésped. Una vez en el interior, forman plasmodios [225] [126], ver Fig. 3.2.

Entre los plasmodioforomicetos se encuentran algunos parásitos internos de plantas, como los que producen la hernia o potra de la col o la sarna pulverulenta de la patata [57] [140].

La hernia de la col (*Plasmodiophora brassicae*) afecta a crucíferas cultivadas como la coliflor, el repollo o el rábano, pero también a otras crucíferas silvestres y malas hierbas. Provoca hinchazones en las raíces, produciendo amarilleamiento y marchitez en la parte aérea, que es mas patente en tiempo caluroso, con el consiguiente retraso en el

crecimiento. El control es difícil, dada la diversidad de plantas que pueden hospedar el patógeno, unido a que las esporas durmientes, pueden mantener su viabilidad durante mas de 20 años [225]. Son buenas labores culturales mantener el terreno bien drenado, evitar la presencia de malas hierbas y hacer la plantación con material de garantía.

Los tubérculos enfermos de sarna (*Spongospora subterranea*), presentan pústulas pulverulentas en su superficie, conteniendo gran cantidad de esporas. La planta no presenta síntomas en ninguna de las fases de propagación de este tipo de sarna. Una alta humedad y las bajas temperaturas en el suelo favorecen la propagación del patógeno.

3.3. Oomicetos

Los oomicetos, también conocidos como "mohos acuáticos", fueron considerados como un tipo de hongos, entre otros motivos por crecer formando filamentos y la reproducción por esporas. En la actualidad se sabe que hongos y oomicetos son muy diferentes en ciertos caracteres bioquímicos y citológicos, mientras que éstos son mas parecidos a las algas e incluso a las plantas verdes, los hongos tienen ciertas características mas próximas a las de los animales [97] [73][109].

La mayoría de los oomicetos producen hifas formando un micelio, no están divididas por paredes o septos que separen las células, es decir, el micelio es no septado y se dice, por ello, que es cenocítico. Producen zoosporas asexuales en zoosporangios. Las zoosporas tienen dos flagelos, uno de ellos liso, dirigido hacia atrás y otro mas corto, con pequeños pelillos laterales (retronemas), dirigido hacia adelante. Las esporas sexuales que quedan durmientes (oosporas) se producen por la unión de dos gametangios, que son diferentes en tamaño y forma y que se denominan anteridio (macho) y oogonio (hembra) [228] [14], ver Figs.: 3.3 y 3.4.

Los oomicetos pueden vivir saprofiticamente o bien como parásitos obligados o facultativos [225]. Las enfermedades producidas por oomicetos pueden ser de dos tipos. Uno de ellos es el de las que afectan a partes de la planta que están en contacto con el suelo o próximas a él (semillas, raíces, tubérculos, frutos que tocan el suelo, etc...) estas las producen los géneros *Aphanomyces* y *Pythium*, además de algunas especies del género *Phytophthora*. El otro tipo son las que afectan a partes aéreas de las plantas, en este caso son producidas por todos los mildius verdaderos, las especies del género *Albugo* y por ciertas especies

de *Phytophthora* [4].

Algunas de las enfermedades mas devastadoras están producidas por oomicetos, tales como las referidas *Pythium*, *Phytophthora*, mildiu de la patata o el mildiu de la vid.

El mildiu de la patata produjo la gran hambruna irlandesa de 1845 a 1848 que provocó la muerte de mas de un millon de personas y la emigración de otras tantas a los Estados Unidos. En 1861, Anton de Bary, un cirujano, microbiólogo y micólogo alemán, demostró que la causa de la enfermedad era un hongo al que se denominó *Phytophthora infestans* (destructor infeccioso de plantas), hoy sabemos que es un oomiceto.

En 1878 apareció una nueva enfermedad en los viñedos franceses, el mildiu de la vid, con grandes pérdidas de cosechas, en 5 años se extendió la enfermedad al resto de Francia y países limítrofes, entre ellos España. Se demostró que la enfermedad estaba producida por *Plasmopara viticola* y una observación casual llevó a Pierre Alexis Millardet, un botánico y micólogo francés, al descubrimiento del caldo bordelés (1885), un compuesto a base de cobre que permitió controlar la enfermedad y que fué el primer fungicida.

Taxonómicamente, los principales oomicetos fitopatógenos, se distribuyen en dos órdenes, Saprolegniales y Peronosporales, éste último incluye a las familias Pythiaceae, Peronosporaceae y Albuginaceae.

Entre los Saprolegniales se incluye *Aphanomyces euteiches* que produce podredumbre radicular en guisante. En la familia Pythiaceae se encuentra el género *Pythium*, que produce el colapso «damping off» de las pequeñas plantas de los semilleros, particularmente en el estadio de plantula. En la misma familia, se encuentra la referida *Phytophthora infestans* y otras de ese mismo género que afectan a raíces, tallos, frutos y hojas. En la familia Peronosporaceae se incluyen los mildius verdaderos, como *Plasmopara viticola* [3], al igual que otros como *Bremia lactucae* (mildiu en lechuga), *Pseudoperonospora cubensis* (mildiu de las cucurbitáceas, Figs. 2.34 y 2.35) y muchas otras. Entre las Albuginaceae se encuentra *Albugo candida*, que produce la roya blanca de las crucíferas.

Se relacionan, a continuación, géneros de Peronosporales y huéspedes que se citan en publicaciones especializadas [134] .

Aphanomyces: leguminosas (*A. euteiches*, podredumbre radicular en guisante).

Albugo: brassicas (*A. candida*, roya blanca).

Phytophthora: almendro (*spp.* podredumbre del cuello), frondosas

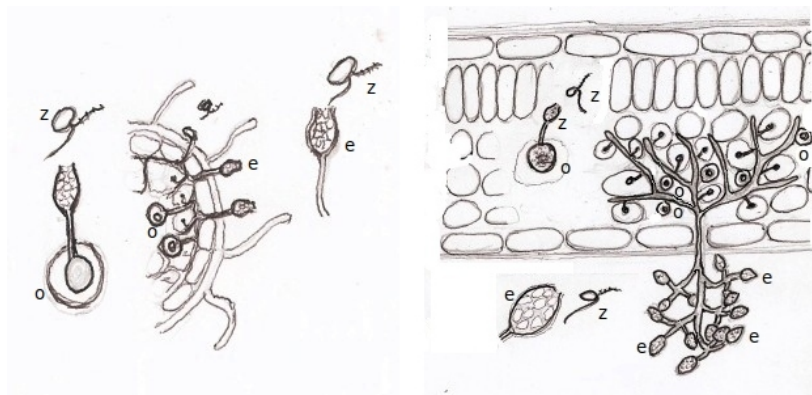


Figura 3.3. *Phytophthora* en frutales [228]. e: esporangio, o: oospora, z: zoospora.

Figura 3.4. Mildiu de la vid [14]. e: esporangio, o: oospora, z: zoospora.

(*Ph. ramorum*), frutales de hueso (*spp.*, mal del cuello), leguminosas (*Ph. Phaseoli*, mildiu de la judía), solanáceas (*Ph. spp.*, *Ph. infestans*, podredumbre del cuello y la raíz, mildiu del tomate), frutales de pepita (*spp.*, mal del cuello).

Pythium: horticolas de hoja (*P. tracheiphilum*, traqueipitiosis de la lechuga), leguminosas (*P. spp.* pitiosis).

Hyaloperonospora: brassicas (*H. parasitica*, mildiu).

Bremia: horticolas de hoja (*B. lactucae*, mildiu de la lechuga).

Plasmopara: vid (*P. viticola*, mildiu).

Peronospora: horticolas de hoja (*P. farinosa*, mildiu de la acelga y la espinaca), leguminosas (*P. Manshurica*, *P. Viciae*, mildius de la soja y del guisante).

Pseudoperonospora: cucurbitáceas (*P. cubensis*, mildiu de las cucurbitáceas).

Capítulo 4

Hongos fitopatógenos

4.1. Características

Hasta el momento, se han descrito entre 80000 y 120000 especies de hongos, aunque se estima que su número puede estar en torno a 1,5 millones. ([96], [115], [46], [225]), pudiera ser el tercer grupo de seres vivos mas numeroso, tras insectos y bacterias. Para que nos hagamos mejor idea de su magnitud, el número de especies de mamíferos conocidos en el año 2005 era de 5416 [46] . Los hongos se denominan en latín Fungi y en griego Mycota. Se dice que son organismos eucariotas (como animales y plantas), porque sus células tienen un verdadero núcleo (en griego karion) diferenciado, que, entre otros, incluye la mayor parte del material genético (cromosomas que poseen ADN), el cual tiene una estructura y división características (mitosis), ello, a diferencia de los procariotas como las bacterias que no poseen núcleo y el ADN (ácido desoxirribonucleico) se encuentra libre en el interior de la célula [186].

Los hongos, normalmente se reproducen formando esporas [106], suelen presentar un cuerpo ramificado (micelio) con filamentos que se denominan hifas (Figs. 8.3, 8.4 y 2.53). A diferencia de las plantas (seres autótrofos), generalmente, los hongos son seres heterótrofos que no tienen clorofila y no producen por sí mismos la energía (carbono) que necesitan para vivir, con lo cual, como sucede con los animales, tienen que obtenerlo de fuentes externas. Esa fuente de carbono puede ser materia orgánica muerta (caso de los saprófitos) o bien proceder de otros seres vivos (parásitos). El modo de nutrición, en general, es mediante degradación extracelular y absorción. También hay hongos que

forman asociaciones, mutuamente beneficiosas con seres vivos que les proporcionan su alimento (simbiontes) [34]. La mayoría de las especies de hongos son saprófitas, sin embargo, miles de ellas, producen enfermedades en plantas y todas las plantas se ven atacadas, en mayor o menor medida, por alguna especie de hongo.

Aunque, esto se encuentra actualmente en cuestión, clásicamente, los verdaderos hongos se distribuyen en cuatro categorías, quitridiomycetos, zigomicetos, ascomicetos y basidiomicetos [34], [4].

4.2. Quitridiomycetos

Los quitridiomycetos producen zoosporas con un flagelo posterior liso, es el único grupo de hongos que presenta esporas con flagelo y tienen un micelio que puede ser redondeado o alargado que carece de divisiones internas.

Entre los quitridiomycetos puede citarse *Olpidium* [229][121] (Fig. 4.1), que parasita raíces de plantas hortícolas entre otras, así como *Urophlyctis* que afecta a la alfalfa o *Synchytrium* que parasita a las patatas.

4.3. Zigomicetos

Al igual que los quitridiomycetos, no tienen el micelio tabicado. Producen esporas asexuales que no poseen movilidad y que se sitúan en esporangios terminales, son las esporangiosporas. Las esporas sexuales de resistencia o de reposo son zigosporas que se producen mediante fusión de estructuras denominadas gametangios, los cuales son producidos por las hifas. También pueden producir clamidosporas, las cuales se forman en las hifas, tienen pared gruesa y actúan como esporas de resistencia.

Entre otros órdenes de zigomicetos se encuentran Mucorales y Glomales, al primero de ellos pertenecen los órdenes *Mucor* (Fig. 4.2) y *Rhizopus* que producen moho en el pan y podredumbre de verduras. Entre los Glomales, se encuentran géneros como *Glomus* y otros que forman unión simbiótica con raíces de plantas, las cuales se conocen como micorrizas 4.3, particularmente del tipo endomicorrizas vesículo-arbusculares por formar vesículas y arbusculos en el interior de las células radiculares, forman esporas asexuales en las raíces de las plantas o libremente en el suelo, la reproducción sexual es rara [4].

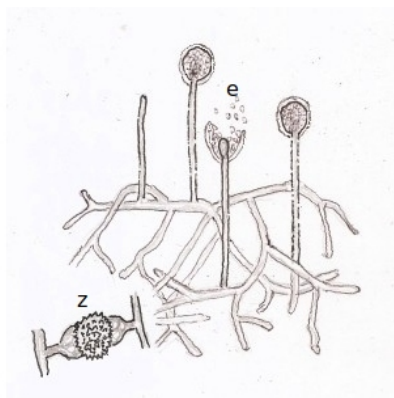
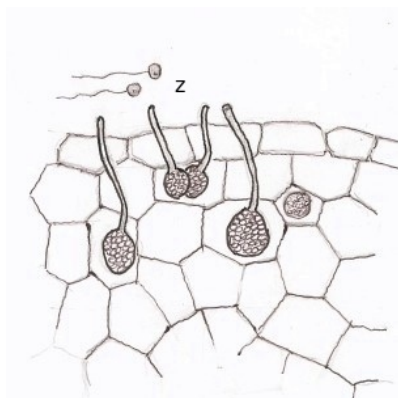


Figura 4.1. Talo de *Olpidium*, z: zoosporas y zoosporangios con tubo de descarga, el talo es holocárpico (todo el se convierte en esporangio) [229].

Figura 4.2. *Mucor*, e: esporangios, z: zigospora [225].

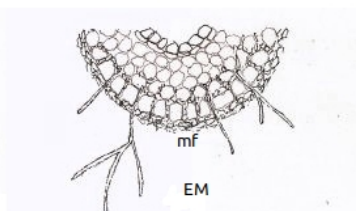
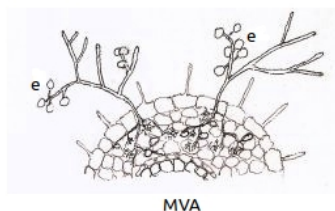


Figura 4.3. Esquema de micorrizas vesiculo arbusculares (MVA) y ectomicorrizas (EM) [222, 38], e: esporas, mf: manto fúngico.

4.4. Ascomicetos

Con mucha diferencia, son los ascomicetos los que mayor incidencia tienen como hongos fitopatógenos. Las hifas tienen divisiones (septos) que separan unas células de otras aunque esas separaciones poseen un poro que permite a los núcleos emigrar de una célula a otra. Como se dice anteriormente, producen esporas, que pueden tener un origen sexual (ascosporas) o asexual (conidiosporas o conidios, Fig. 2.77, 2.78 y 2.71) [106]. Las ascosporas se forman en el interior de ascas («sacos» o «vainas»).

Las ascas suelen contener generalmente 8 ascosporas y presentan diferentes características, según el grupo de ascomiceto. Según su forma y el recubrimiento de las ascosporas, las ascas pueden ser de diferentes tipos. En el caso de las prototunicadas, tienen forma esférica y la pared es delicada, liberando las esporas pasivamente por disolución. En las unitunicadas la envoltura consta de dos capas (endotúnica y exotúnica) que están firmemente unidas entre sí, hay casos, en que se presenta un opérculo, en otros una fisura y en otros un anillo apical por donde salen las ascosporas. En las ascas bitunicadas hay dos capas separadas de diferente espesor, la interior mas gruesa y la exterior mas delgada [6], Fig. 4.4.

Las ascas pueden encontrarse en el interior de estructuras de fructificación conocidas como ascomas o ascocarpos, Fig. 4.6. Estas estructuras pueden tener forma esférica (conocidas como cleistotecios, Figs. 8.4 y 2.46), forma de matraz (peritecios) o con forma de plato (apotecios), dependiendo de las diferentes especies. También, en el caso de los ascomicetos ascostromáticos, las ascas pueden situarse en el interior de lóculos o cavidades (pseudotecios) que pueden ser de carácter unilocular o multilocular. Finalmente las ascas pueden disponerse directamente de forma desnuda, en la superficie de las plantas, Fig. 4.5. Las ascas, en el interior de los ascomas, pueden ir acompañadas de hifas estériles que tienen distintas denominaciones según su disposición (paráfisis, perífisis, pseudoparáfisis, Fig. 4.6).

Se denominan hongos mitospóricos o deuteromicetos a aquéllos ascomicetos que han perdido la facultad de producir esporas sexuales o bien, dicho tipo de esporas se encuentran muy raramente. Esta circunstancia ha dado lugar a que haya especies que tienen un nombre para el estado o fase sexual (teleomorfo) y otro diferente para el estado o fase asexual (anamorfo), hay veces en que se conocen los dos estados de un mismo organismo, con lo que puede haber cierta confusión. Sus esporas

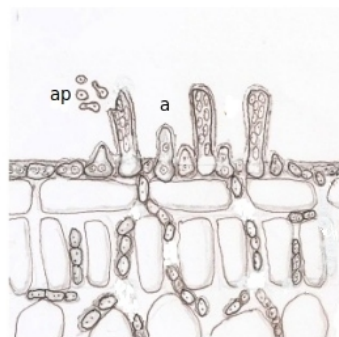
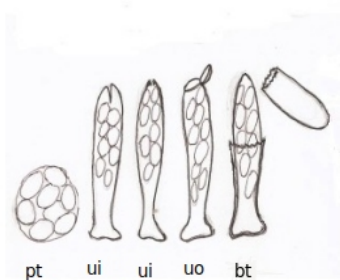


Figura 4.4. Tipos de ascas. pt: prototunicada, ui: unitunicada inoperculada, uo: unitunicada operculada, bt: bitunicada [6] [126][225].

Figura 4.5. Micelio y ascas en *Taphrina* [35][6]. a: ascas, ap: ascosporas

o conidios también pueden producirse en el interior de cuerpos fructíferos característicos que pueden tener forma de matraz (picnidios), o ser planos o con forma de disco o plato (acérvulos, Fig. 2.28). También pueden proceder de conidióforos agrupados (sinema, esporodoquio) o de conidióforos dispuestos individualizadamente (conidioma hifal), Fig: 4.7.

Se denomina ostiolo al pequeño orificio situado en peritecios y picnidios, a través del cual salen las esporas al exterior.

Entre los ascomicetos, se encuentran las siguientes clases que incluyen importantes patógenos de plantas[188][28]: Taphrinomycetes, Sorbariomycetes, Dothideomycetes y Leotiomycetes.

4.4.1. Taphrinomycetes

En ellos se incluye el género *Taphrina*, con especies como *T. deformans* que produce la lepra o abolladura, con abullonado de las hojas en frutales como melocotonero y almendro, produciendo defoliación ([134], Figs. 2.16 y 2.13). Forma ascas desnudas sobre las lesiones, normalmente con ocho ascosporas que se reproducen por gemación, tanto dentro como fuera del asca (Fig. 4.5).

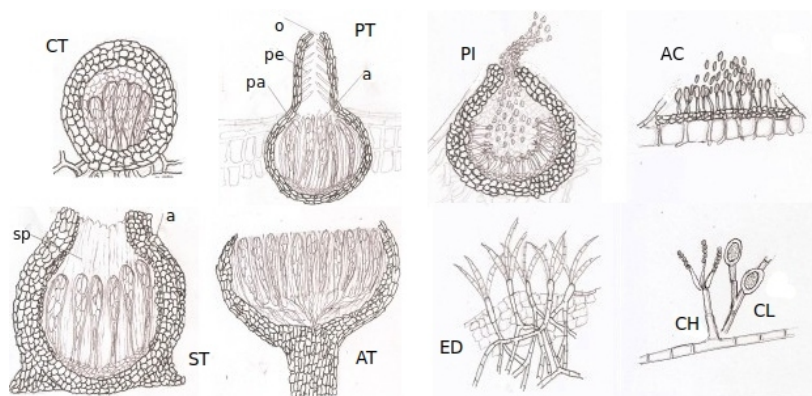


Figura 4.6. Estructuras de reproducción sexual de ascomicetos, CT: cleistotecio, PT: peritecio, ST: pseudotecio, AT: apotecio, o: ostiolo, a: ascas, pe: perífisis, pa: paráfisis, sp:pseudoparáfisis [6, 4].

Figura 4.7. Estructuras de reproducción asexual de ascomicetos, PI: picnidio, AC: acérvulo, ED: esporodioquio, CH: conidioma hifal, CL: clamidospora [6, 4].

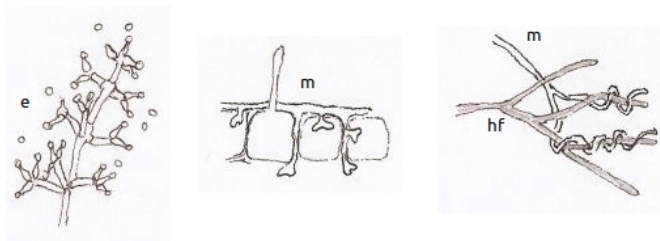


Figura 4.8. Esquema de las estructuras de *Trichoderma* [47, 7], m: micelio, e: esporas, hf: hongo fitopatogeno.

4.4.2. Sordariomycetes

En esta clase se encuentran ascomicetos no liquenizados que generalmente forman peritecios y cuyas ascas son unitunicadas aunque también pueden darse casos de prototunicadas. Se trata de un grupo amplio, diverso y cosmopolita, que se encuentra en casi todos los ecosistemas. Entre ellos se encuentran patógenos de plantas, artrópodos y mamíferos, los hay endófitos (parásitos sistémicos), así como micoparásitos y saprófitos [235].

Su clasificación, basada en características morfológicas no se ajusta bien a la realizada según caracteres moleculares y se encuentra sometida a continuas revisiones [6], [28], [101].

A continuación se refieren órdenes, frecuentemente citados como patógenos con algunos de sus miembros [134], indicando, en su caso, si se trata de anamorfos (ana.).

4.4.2.1. Hypocreales

Este grupo incluye, tanto patógenos de plantas y artrópodos (*Cordiceps*) como endófitos y saprófitos además de útiles micoparásitos (*Trichoderma*, Fig. 4.8). Los peritecios tienen paráfisis y, como se ha dicho, las ascas son unitunicadas con un poro apical.

Claviceps (ana) : cereales (*C. purpurea*, cornezuelo), Fig. 4.9.

Nectria: frutales de pepita (*N. galligena*, chancro del manzano y del peral), Fig. 4.10.

Epichloë: gramíneas (*spp.* endófito [181]).

Haemanectria: leguminosas (*H. haematococca*, fusariosis radicular).

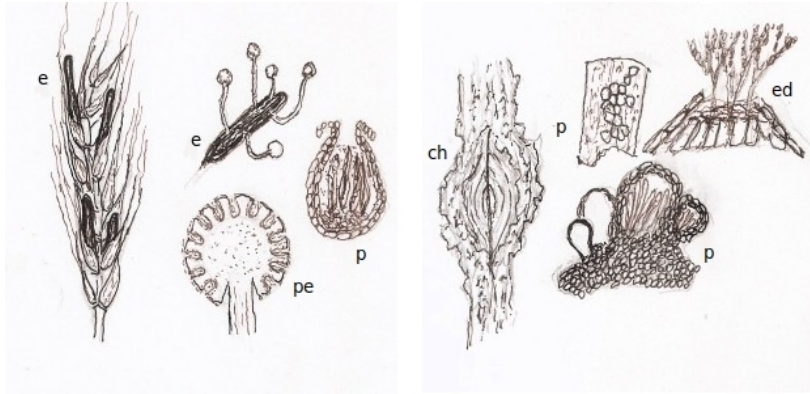


Figura 4.9. Estructuras en *Claviceps*. e: esclerocios, p: peritecio con ascas y ascosporas, pe: peritecios inmersos en el estroma.

Figura 4.10. Estructuras en *Nectria*. ch: chancro en rama o tronco, p: peritecios con ascas y ascosporas, ed: esporodoquio con conidios.

4.4.2.2. Microascales

Se trata de un grupo fundamentalmente saprófito, pero algunos de ellos son patógenos de plantas. Aunque la mayoría tienen peritecios, otros tienen cleistotecios.

Ceratocystis: frondosas (*C. platani*, chancro rojo del plátano).

4.4.2.3. Glomerellales

Incluye hongos saprófitos, endófitos y patógenos de plantas, animales y otros hongos. Tienen peritecios con paráfisis y los ostiolas con perífisis [215] [36], Fig. 4.6.

Colletotrichum (ana): almendro (*C. acutatum*, antracnosis), leguminosas (*C. lindemuthianum*, antracnosis de la judía), olivo (*spp.* antracnosis o aceituna jabonosa), [129][61][77], Fig. 4.11.

4.4.2.4. Ophiostomatales

Incluye hongos asociados con la corteza y madera de los árboles, la mayor parte saprófitos y que suelen dispersarse mediante coleópteros. Sus peritecios no tienen paráfisis [4].

Ophiostoma: olmo (*O. novo-ulmi*, grafiosis) [55] Fig. 4.12.

4.4.2.5. Diaporthales

Incluye hongos fitopatógenos, saprófitos y endófitos, tiene gran diversidad de huéspedes y sustratos, incluyendo importantes especies arbóreas y cultivos. Presentan peritecios solitarios o agrupados, generalmente inmersos o erumpentes (hinchados hasta romper la superficie externa), mas raramente superficiales, con cuellos largos y que carecen de paráfisis o son muy escasas. Las ascas son unitunicadas, con anillo apical [6][173] [192].

Cryphonectria: frondosas (*C. parasítica*, chancro del castaño), Fig: 4.13 [167][170].

Gaeumannomyces: cereales (*G. graminis*, pie negro).

Pyricularia (ana): arroz (*P. orizae*, piricularia del arroz).

4.4.2.6. Xylariales

Es uno de los mayores órdenes dentro de los Sordariomycetes, la mayoría son saprófitos o parásitos de plantas en habitats terrestres. Tienen peritecios oscuros con paráfisis. Las ascas presentan, frecuentemente, anillo apical [235].

Hypoxylon: encina (*H. mediterraneum*, sinónimo *Biscogniauxia mediterranea*, chancro carbonoso), Fig. 4.14 [105][162].

Eutypa: vid (*E. lata*, eutipiosis) Figs: 2.43, 2.44, [15] [64][87].

Rosellinia: arbustos de flor (*R. necatrix*), cítricos (*R. necatrix*), frutales de hueso (*R. necatrix*), frutales de pepita (*R. necatrix*), olivo (*R. necatrix*), ornamentales no arbustivas (*R. necatrix*), vid (*R. necatrix*).

4.4.3. Dothideomycetes

Es uno de los grupos de hongos mas amplios, con un alto nivel de diversidad biológica encontrándose tanto en ambientes terrestres como en fluviales y marinos [158].

Las ascas se producen en estromas, dentro de lóculos o cavidades que pueden ser individuales (unilocular) o tratarse de un conjunto de ellos (multilocular). Son fisitunicadas, es decir, las esporas se dispersan de manera forzada por la ruptura de la capa gruesa exterior (ectotunica) por su extremo, permitiendo a la delgada capa interior (endotúnica) expandirse y romperse, de manera similar a una caja de sorpresas [189].

Entre los órdenes citados se encuentran los siguientes [140][4][199][158][100].

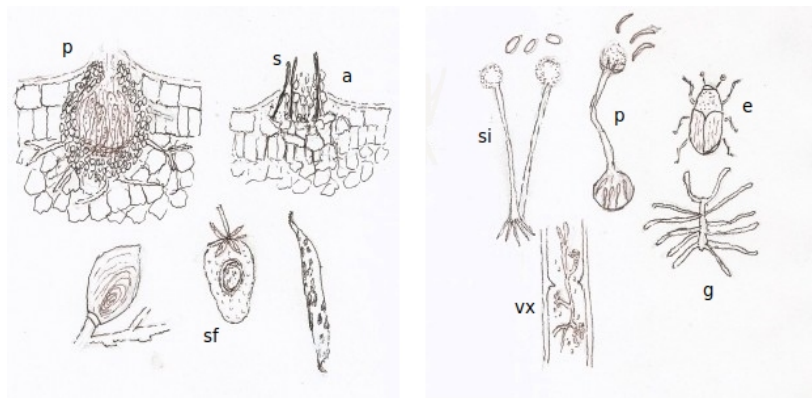


Figura 4.11. Estructuras y síntomas de *Colletotrichum* y *Glomerella* (tel), p: peritecio, a: acérvulo, s: setas, sf: síntomas en frutos .

Figura 4.12. Estructuras de *Ophiostoma*. si: sinemas o coremios, con conidios, p: peritecio con ascosporas, e: escolítido, g: galerías del insecto, vx: vaso del xilema con micelio y esporas [55].

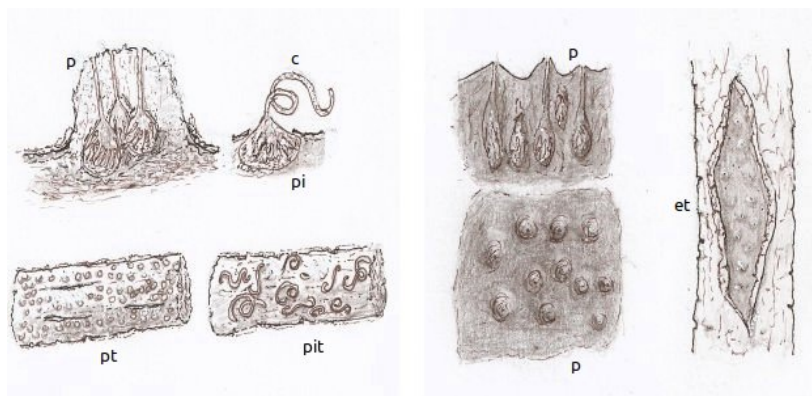


Figura 4.13. Signos y síntomas de *Cryphonectria*, p: peritecios, pt: peritecios en tronco o rama, c: cirro con conidios, pi: picnidio, pit: picnidios en tronco o rama.

Figura 4.14. Signos y síntomas de *Hypoxylon*, p: peritecios en estroma, et: estroma en tronco.

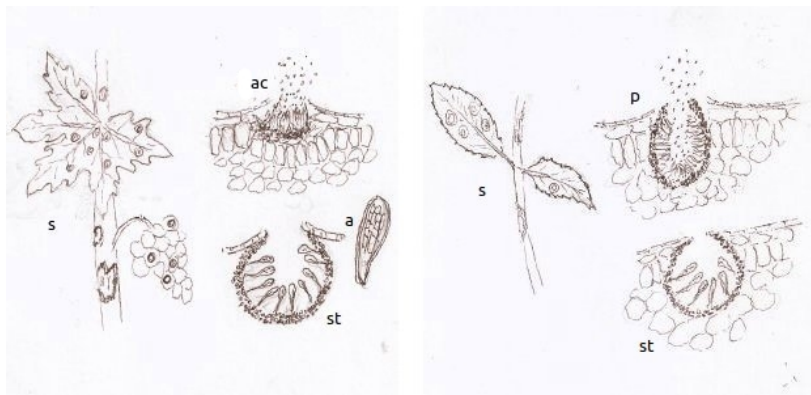


Figura 4.15. Estructuras y síntomas de *Elsinoë*. s: síntomas, ac: acérvulo, a: asca, st: pseudotecio

Figura 4.16. Estructuras y síntomas de *Ascochyta* (ana) y *Mycosphaerella* (tel). s: síntomas, p: picnidio, st: pseudotecio.

4.4.3.1. Dothideales

Carecen de hifas interascales (pseudoparáfisis) en los lóculos.

Elsinoë: vid (*E. ampelina*, antracnosis)[124][60], Fig. 4.15.

Mycosphaerella: brassicas (*M. brassicicola*, mancha anular), frutales de pepita (*M. pyri*, septoria del peral), leguminosas (*M. rabiei*, rabia del garbanzo [143][131] Fig. 4.16).

Septoria (ana): cereales (*S. tritici*, septoriosis), pistacho (*S. pistaciarum*, Figs. 2.25) y otros ([91], Figs. 2.26 y Fig. 4.19).

Ascochyta (ana): leguminosas (*A. boltshauseri*, necrosis de tallos, vainas y hojas de la judía), Fig. 4.16.

Polystigma: almendro (*P. ochraceum*, mancha ocre, [43] [93] [92][56] [237][238][208], Fig. 2.31 y 4.17).

4.4.3.2. Capnodiales.

Al igual que los Dhotideales, carecen de pseudoparáfisis.

Capnodium: olivo y otros (*spp.* negrilla) [48][1], Figs. 2.21, 2.22 y 4.18.

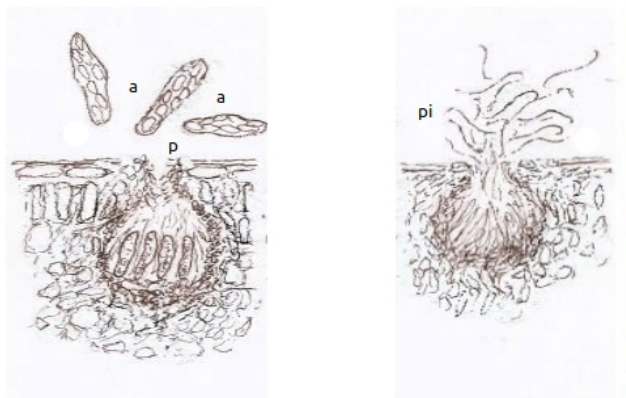


Figura 4.17. Ascas (a), peritecio (p) y picnidio (pi) de *Polystigma*.



Figura 4.18. Ascas (a), peritecios (p) y picnidio (pi) de *Capnodium*.

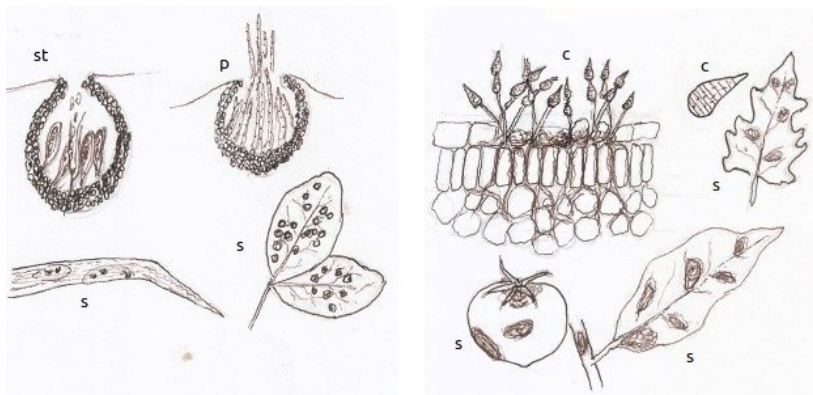


Figura 4.19. Estructuras y síntomas en *Septoria* y *Mycosphaerella*, st: pseudotecio, p: picnidio y picnidiosporas, s: síntomas.

Figura 4.20. Estructuras y síntomas en *Alternaria*, c: conidióforos y conidios, s: síntomas.

4.4.3.3. Pleosporales

Entre los Dothideomicetes, el orden de los Pleosporales es uno de los mas amplios e incluye un conjunto complejo de organismos. El ascostroma es variable, con las ascas rodeadas por pseudoparáfisis [146].

Leptosphaeria: brassicas (*L. maculans*, pie negro).

Drechslera (ana): cereales (*D. graminea*, helmintosporiosis rallada de la cebada).

Pyrenophora: cereales (*P. teres*, helmintosporiosis reticular de la cebada).

Didymella: leguminosas (*D. fabae*, rabia del haba).

Setosphaeria: maíz (*S. Turcica*, tizón del maíz).

Fusicladium (ana): olivo (*F. oleagineum*, repilo), frutales de pepita (*F. eriobotryae*, moteado del níspero).

Venturia: frutales de pepita (*V. pyrina*, sarna del peral, Fig. 4.21, [78]).

Alternaria (ana): solanaceas (*A. solani*) [111], Fig. 4.20.

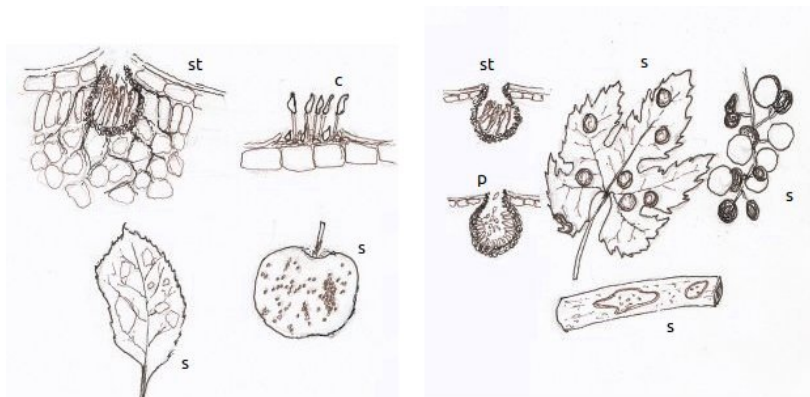


Figura 4.21. Estructuras y síntomas en *Venturia*, st: pseudotecio, c: conidios, s: síntomas.

Figura 4.22. Estructuras y síntomas en *Guignardia* y *Phyllosticta* (ana), st: pseudotecio, p: picnidio, s: síntomas. [4][17]

4.4.3.4. Botryosphaerales

Es un orden de gran importancia ecológica y económica. Incluye el gupo de *Botryosphaeria* (en algunas de sus especies el anamorfo es *Fusicoccum*) y el de *Guignardia* (anamorfo *Phyllosticta*), el primero de ellos tiene especies endófitas en hojas y tejido leñoso de muchas plantas leñosas y tienen ascoma multilocular, mientras que el grupo de *Phyllosticta* infecta, normalmente, hojas y frutos y menos usualmente madera, teniendo, además ascoma unilocular [187][199].

Botryosphaeria: olivo (*B. dothidea*, escudete), pistacho (*B. dothidea*).

Guignardia: vid (*G. bidwellii*, podredumbre negra, Fig: 4.22,)

Phyllosticta (ana): diversidad de plantas.

4.4.4. Leotiomycetes

En esta clase se encuentran ascomicetos con apotecio y ascas uniloculares no operculadas (disomicetos inoperculados), pero también ascomicetos con cleistotecios (oidios). La gran mayoría de ellos produce ascas con ocho ascosporas. En general es un grupo bastante diverso morfológicamente, con apotecios que presentan diferentes apariencias.

Dentro de la clase se encuentran los órdenes Erysiphales, Rhytismales y Helotiales. Con la aplicación de nuevas técnicas moleculares al estudio de la filogenia, la clasificación de este grupo, como sucede en otros, se encuentra en permanente revisión [62][107].

4.4.4.1. Erysiphales

Incluyen a los conocidos como oidios, su consideración dentro de los Leotiomycetes se debe principalmente a sus características moleculares.

Infectan únicamente los tejidos de la planta que están por encima de la superficie del suelo, son ectoparásitos obligados, esto es, se mantienen en el exterior del vegetal y dependen totalmente de su huésped para completar su ciclo biológico. Emiten unas órganos especializados de alimentación (los haustorios), los cuales hacen llegar al interior de las células de la epidermis de las que generalmente se alimentan, aunque algunas especies pueden llegar hasta capas de células mas profundas [45]. En la reproducción sexual forman cleistotecios sin paráfisis, a diferencia de la gran mayoría del resto de Leotiomycetes, que forman apotecios con paráfisis. Los cleistotecios poseen apéndices, cuya morfología ha servido tradicionalmente para separar los géneros. La reproducción sexual se realiza mediante conidios (ver Figs. 4.23, 8.4, 2.45, 2.49 y 2.50).

Sphaeroteca: rosal (Fig.8.3) .

Erysiphe: brassicas (*E. polygoni*, oídio), cereales (*E. graminis*, oídio de los cereales), hortícolas de hoja (*E. cichoracearum*, oídio), leguminosas (*spp.* oídio), vid (*E. necator*[3], Figs. 2.47, 2.48).

Blumeriella: frutales de hueso (*B. jaapii*, cilindrosporiasis).

Podosphaera: frutales de hueso (*Spp.*, oídio), frutales de pepita (*P. leucotricha*, oídio del manzano).

Leveillula: solanáceas (*L. taurica*, oidiopsis).

Oidium (ana): solanáceas (*O. neolycopersici*, oídio del tomate de invernadero).

4.4.4.2. Rhytismales

Forman apotecios y las paráfisis raramente faltan[62].

Lophodermium: coníferas (*spp.* en enebro y pinos).

Rhytisma: frondosas (*R. acerinum*, *R. salicinum*, en arce y sauce).

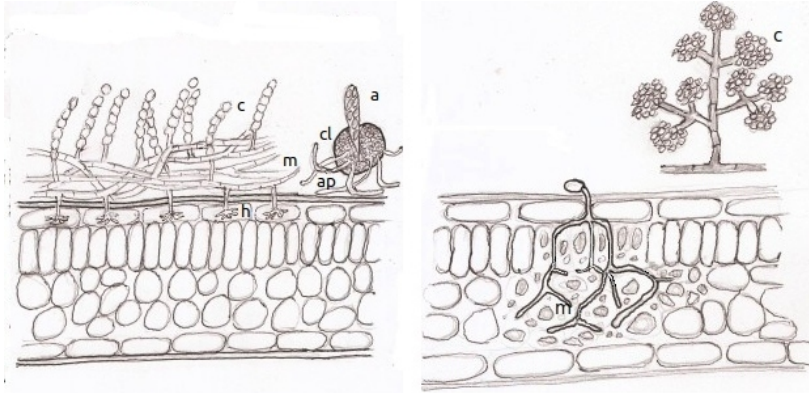


Figura 4.23. Estructuras en oidio. c: conidios, cl: cleistotecio, a: asca, ap: apéndices, h: haustorios.

Figura 4.24. Estructuras en Botrytis. c: conidios, m: micelio.

4.4.4.3. Helotiales

Forman apotecios con paráfisis [62].

Sclerotinia: brassicas (*S. sclerotiorum*, podredumbre blanca), hortícolas de hoja (*S. sclerotiorum*, podredumbre blanca), leguminosas (*S. sclerotiorum*, podredumbre blanca). Ver Fig. 4.26 .

Botrytis (ana): brassicas (*B. cinerea*, podredumbre gris), hortícolas de hoja (*B. cinerea*, podredumbre gris), leguminosas (*Botryotinia fuckeliana*, podredumbre gris), solanáceas (*B. cinerea*, podredumbre gris), vid (*B. cinerea*, podredumbre gris) y otras (podredumbre en flores, frutos y productos almacenados, Fig. 2.53).

Monilinia: almendro (*sp.* podredumbre parda, Figs. 2.51, 2.52 y 4.25), frutales de hueso (*Spp.* podredumbre parda, Figs. 2.51 y 2.52) y otros .

Diplocarpon (*D. rosae*, mancha negra del rosal, Figs. 2.27 y 2.28).

Entomosporium (ana): frutales de pepita (*E. mespili*, Figs. 2.29 y 2.30).

4.4.5. Mitospóricos

Como se ha dicho, los hongos de este grupo, carecen de fase sexual, y se reproducen exclusivamente por medio de conidios.

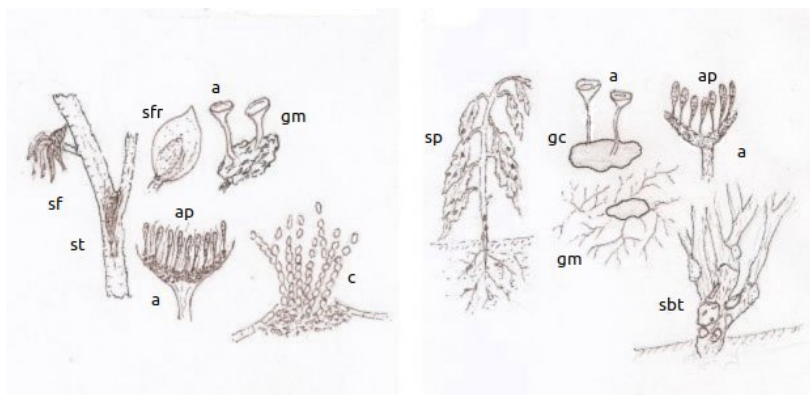


Figura 4.25. Síntomas y signos en *Monilinia* sf: síntomas en flor, st: síntomas en tallo, sfr: síntomas en fruto, a: apotecio, ap: ascosporas, gm: apotecios por germinación en fruto momificado, c: conidióforos y conidios. [169, 145]

Figura 4.26. Síntomas y signos en *Sclerotinia*. sp: síntomas en planta, gc: apotecios por germinación carpogénica de esclerocio, gm: germinación micelial de esclerocio, a: apotecio, ap: ascas con ascosporas, sbt: síntomas en la base del tallo. [171, 98, 139]

Polystigmia (Tel. *Polystigma*): almendro.

Phomopsis: almendro y frutales de hueso (*P. amygdali*, Fig. 2.10, 4.30), vid (Fig. 4.30, [87]).

Verticillium: almendro (*V. dahliae*, verticilosis), olivo (*V. dahliae*), pistacho (*V. dahliae*), solanáceas (*V. dahliae*, verticilosis, Figs. 2.5 y 2.6) .

Alternaria: brassicas (*A. brassicae*, mancha negra), pistacho (*A. alternata*, Fig. 2.24), y otros (Fig. 2.23) .

Rhynchosporium: cereales (*R. secalis*, rincosporiosis de la cebada y el centeno).

Fusarium: cereales (*F. graminearum*, fusariosis), leguminosas (*F. oxysporum*, fusariosis en garbanzo, judía y guisante), solanáceas (*F. oxysporum*, podredumbre del cuello y raíces del tomate) .

Cercospora: horticolas de hoja (*C. beticola*, cercospora, Fig. 4.29) .

Wilsonomyces (*Stigmia*): almendro (*W. carpophilus*, cribado) frutales de hueso (*W. carpophilus*, cribado, Fig. 2.9).

Pseudocercospora: leguminosas (*P. griseola*, mancha angular de la judía), olivo (*P. cladosporioides*, emplomado o repilo plumizo).

Fulvia: solanáceas (*F. fulva*, cladosporiosis del tomate).

Sclerotium (ana.): liliáceas (*S. cepivorum*, ajo, cebolla y puerro, podredumbre blanca).

Penicillium (ana.): productos almacenados y otros (Figs. 4.32, 2.54 y 2.74 y 2.77) [220, 130].

Aspergillus: productos almacenados y otros (Fig. 4.31) [116].

4.5. Basidiomicetos

Los basidiomicetos se caracterizan por producir esporas en el exterior de estructuras denominadas basidios. Producen enfermedades como royas, carbones y rizoctoniosis que se distribuyen en las clases que se indican a continuación [225].

4.5.1. Uredinomyces

Se incluyen las royas (Figs. 2.56, 2.57.), una enfermedad a la cual, a lo largo del S. XX, dedicaron mucho estudio y esfuerzo eminentes fitopatólogos, como Elwin C. Stakman, Margaret Newton y Norman Borloug.

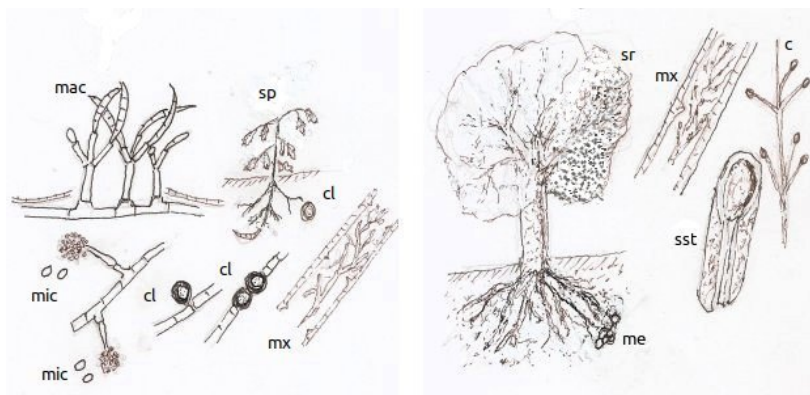


Figura 4.27. Estructuras y síntomas en *Fusarium*, mac: macroconidios, mic: microconidios, cl: clamidosporas, sp: síntomas en el conjunto de la planta, mx: micelio en xilema. [104], [94]

Figura 4.28. Estructuras y síntomas en *Verticillium*, me: microesclerocio (estructura dura de resistencia del hongo), c: conidioforos, sr: síntomas en ramas, sst: síntomas en sección de tallo, mx: micelio en xilema. [104], [29]

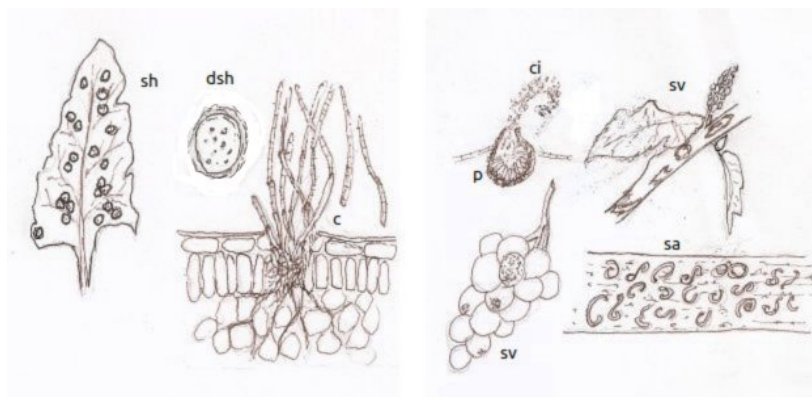


Figura 4.29. Signos y síntomas en *Cercospora*, sh: síntomas en hoja, dsh: detalle de síntomas, c: conidióforos y conidios. [194][166][218][165]

Figura 4.30. Signos y síntomas en *Phomopsis*, p: picnidio y picnidiosporas, ci: cirrus, sv: síntomas en vid, sa: tallo de almendro con cirrus. [9]

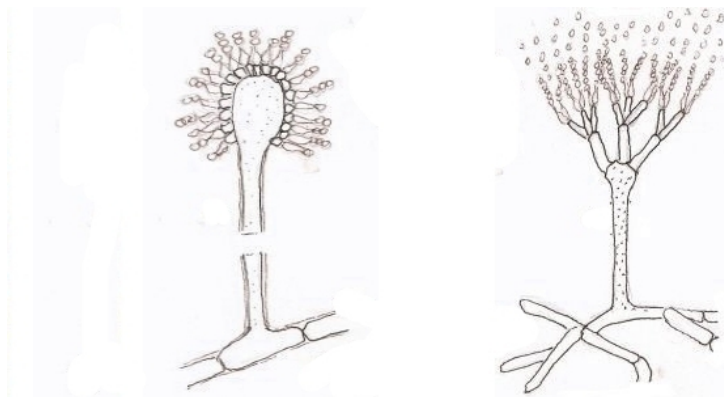


Figura 4.31. Esquema de conidióforo de *Aspergillus*.

Figura 4.32. Esquema de conidióforo de *Penicillium*.

Dependiendo de su ciclo de vida, pueden desarrollar, para su reproducción, diferentes estructuras (espermogonio, ecio, telio y uredio) cuyos esquemas se representan en la Fig. 4.33 .

Atacan fundamentalmente hojas y tallos. En el caso de la roya del trigo (*Puccinia Graminis*), para completar el ciclo se necesita un hospedante alternativo (el agracejo) en el cual aparecen los espermogonios y los ecios, mientras que en el trigo (hospedante primario) se desarrollan uredios y telios, se dice que esta especie de roya es heteroica y también macrocítica al aparecer todas las fases. Al comenzar el ciclo, sobre el agracejo, en el espermogonio se producen espermacios, que se dispersan por insectos de un espermogonio a otro. Cuando encuentran una hifa receptora, se producen ecios en el envés de las hojas, los cuales forman eciosporas, que son dispersadas por el viento hasta situarse sobre el trigo, produciendo uredos que liberan uredosporas durante toda la época favorable, extendiendo la enfermedad por la acción del viento. Cuando llega la época desfavorable, se forman los telios que producen las teliosporas que, en primavera, formarán basidios con basidiosporas que se extenderán y volverán a comenzar el ciclo, sobre el agracejo [191].

En el caso de la roya de la malva (*Puccinia Malvacearum*) y el geranio, todo el ciclo se desarrolla en la especie en cuestión (Fig. 2.56 y 2.57), la roya se dice autoica y microcíclica al tener sólo dos tipos de estructuras (telios y basidios) [25].

Dichos ejemplos y otros se exponen a continuación [140][134].

Tranzschelia: almendro (*T. pruni-spinosae*, roya), frutales de hueso (*T. pruni-spinosae*, roya).

Puccinia: cereales (*P. triticea*, *P. striiformis*, royas parda y amarilla), maíz (*P. sorghi*), liliáceas (*P. allii*, ajo, cebolla).

Uromyces: pistacho (*U. terebinthi*, roya del pistacho y de la cornicabra), remolacha, leguminosas (*U. appendiculatus*, *U. ciceris-arietini*, *U. viciae-fabae*, royas de la judía, el garbanzo y el haba).

Phragmidium (*P. mucronatum*, roya del rosal)

4.5.2. Ustilaginomycetes

Se incluyen carbones, tizones y otros [156][134], estos hongos también han sido un gran problema en el cultivo de cereales, junto con las royas. Atacan generalmente los ovarios en gramíneas y se desarrollan sobre ellos y el fruto, p. ej. los granos de las espigas de cereal o de las mazorcas de maíz donde forman teliosporas de color oscuro que propagan la enfermedad. Algunos de estos hongos atacan hojas y tallos

[4].

Ustilago: maíz (*U. maydis*, carbón común), cereales (*sp.* carbón desnudo de cebada, avena y trigo, Fig. 4.34).

Urocystis: liliáceas (*U. cepulae*, carbón del ajo, cebolla y puerro).

Tilletia: trigo (*T. caries*, caries o tizón del trigo).

Entyloma: hortícolas de hoja (*E. serotinum*, carbon de la borraja).

Sphacelotheca: maíz (*S. reiliana*, carbón de la espiga).

4.5.3. Agaricomycetes

Incluye hongos que forman cuerpos fructíferos conocidos popularmente como setas. Casi todas las especies de esta clase son terrestres salvo algunas acuáticas y prosperan en gran diversidad de hábitats. Algunas producen enfermedades, como las que se citan a continuación [134][140].

Armillaria: *A. mellea* en almendro, frondosas, frutales de hueso, frutales de pepita y vid.

Stereum: vid (*S. hirsutum*, yesca) [87].

Rhizoctonia (ana): *R. solani* en brassicas (podredumbre de raíz y tallo), cereales, hortícolas de hoja (rhizoctonia de la lechuga), leguminosas (rizoctoniosis) y otras (rizoctoniosis, podredumbre en raíces, tallos y frutos).

Athelia: *A. rolfsii* (anamorfo *Sclerotium rolfsii*, podredumbre de cuello, corona o tallo) leguminosas, solanáceas, manzano, olivo y otras.

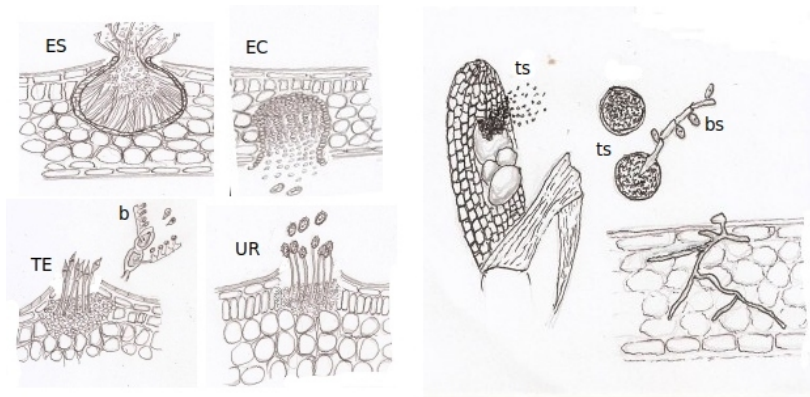


Figura 4.33. Estructuras de los basidiomicetos, ES: espermatogonio, EC: ecio, TE: telio con teliosporas, basidios y basidiosporas, UR: uredio.

Figura 4.34. *Ustilago Maydis*, ts: teliosporas, bs: basidiosporas.

Capítulo 5

Bacterias, virus, nematodos y plantas

5.1. Bacterias y fitoplasmas

Las bacterias están formadas por una sola célula (unicelulares), son seres procariotas, es decir, no poseen un núcleo rodeado por una membrana y el ADN se encuentra libre, formando un anillo. Las células sólo tienen unas pocas formas básicas como esferas (cocos) o bastoncillos (bacilos). Su tamaño es muy pequeño y las bacterias individuales no pueden verse a simple vista. Las bacterias patógenas, producen enfermedades muy serias en todo el mundo [219]; pero con menor incidencia que los hongos o los virus, produciendo, en general, menos daño y pérdidas económicas [112].

Entre las bacterias mas dañinas se encuentran la *Pseudomonas syringae* (Fig. 2.7) que afecta a una gran diversidad de plantas, la marchitez parda de la patata, la *Agrobacterium tumefaciens* en gran cantidad de huéspedes (Fig. 2.2), la *Pseudomonas savastanoi* en olivo (Fig. 2.1), o la *Xylella fastidiosa* que tantos daños produce en vid, olivos, almendros y que se ha convertido en una gran amenaza para esos cultivos en España [132]. Como ejemplos de formas de vida, las bacterias del género *Xanthomonas* son consideradas como biotrofos, entre ellas se encuentra *Xanthomonas citri* (Subsp Citri) que ataca a los cítricos y la *Xanthomonas arboricola* (pv. Pruni) que ataca a frutales de hueso y almendro. Las especies del género *Erwinia* se consideran necrótrofos,

particularmente *Erwinia amylovora* que produce la enfermedad conocida como «fuego bacteriano» y que ataca a la familia de las rosáceas (manzano, peral, membrillero...etc.). En la siguiente relación se indican bacterias patógenas y grupos de cultivo que pueden verse afectados [134].

Xanthomonas: almendro (*X. arboricola*, mancha bacteriana de los frutales de hueso), brassicas (*X. campestris*, nerviación o podredumbre negra), frutales de hueso (*X. arboricola*, mancha bacteriana de los frutales de hueso), solanáceas (*X. campestris*, mancha bacteriana).

Agrobacterium: almendro (*A. tumefaciens*, agalla o tumor del cuello), frutales de hueso (*A. tumefaciens*, agalla o tumor del cuello), frutales de pepita (*A. tumefaciens*, tumor del cuello y raíces), vid (sp. tumores de la vid).

Pseudomonas: brassicas (*P. syringae*, mancha foliar), hortícolas de hoja (*P. cichorii*), frutales de hueso (*P. syringae*, chancro bacteriano), leguminosas (*P. syringae*, grasa de la judía y del guisante, mancha parda), olivo (*P. savastanoi*, Fig. 2.1), frutales de pepita (*P. syringae*), solanáceas (*P. syringae*, mancha negra del tomate).

Pectobacterium (*Erwinia*): brassicas (*P. spp.* podredumbre blanda), frondosas (*Erwinia amylovora*, fuego bacteriano), hortícolas de hoja (*P. carotovorum*, pudrición blanda), frutales de pepita (*Erwinia amylovora*, fuego bacteriano), solanáceas (*Erwinia carotovora*, podredumbre blanda).

Rhodococcus: brassicas (*R. fascians*, fasciación).

Dickeya: maíz (*D. zeae*, podredumbre bacteriana del tallo).

Clavibacter: solanáceas (*C. michiganensis*, chancro bacteriano del tomate).

Xylophilus: vid (*X. ampelinus*, necrosis bacteriana de la vid).

Los fitoplasmas y espiroplasmas son organismos procariotas (sin núcleo diferenciado), al igual que las bacterias, pero que carecen de pared celular. Se incluyen en un grupo denominado mollicutes. Estos organismos producen enfermedades en árboles y plantas herbáceas. Para la propagación necesitan de insectos (vectores) [99]. Entre ellos, se citan a los siguientes [140], fitoplasma de la proliferación del manzano, del enrollado clorótico del albaricoquero, del amarilleo del aster (ajo, zanahoria, gladiolo, cebada, lechuga, tomate, patata, rosas y otras), fitoplasma asociado a la madera negra de la vid (frutales, hortícolas, ornamentales, vid), del decaimiento del peral y del stolbur de la patata (solanáceas y otras).

5.2. Virus y viroides

Los virus son organismos muy simples, que estan formados por ADN o ARN (ácido ribonucleico) encerrado en una envoltura de proteína, eventualmente con una capa de material lipídico (grasa). Los virus sólo pueden replicarse en el interior de las células de otros organismos. Son tan pequeños que no pueden verse con el microscopio óptico.

La mayoría de los virus infectan a un sólo tipo de huésped, producen pérdidas económicas, debido tanto a la disminución de cosechas como al deterioro de la calidad (Fig. 2.36). Entre los que mas daños producen se encuentran el virus del mosaico del tabaco (tabaco, tomate, pimiento, berenjena), el virus del bronceado del tomate, el virus del rizado amarillo del tomate (Fig. 2.37), el virus del mosaico del pepino y el virus Y de la patata [190].

Todos los virus son biotrofos, ya que dependen de las células vivas para su reproducción.

Se indican, a continuación, diferentes grupos de cultivo y los virus por los cuales pueden verse afectados [134].

Almendro: virus de las manchas en anillo de los prunus (*PNRSV*), virus del enanismo del ciruelo (*PDV*).

Brassicas: virus del mosaico de la coliflor (*CaMV*), virus amarillo de la necrosis del brocoli (*BNYV*).

Hortícolas de hoja: virus del bronceado del tomate (*TSWV*), virus del mosaico de la lechuga (*LMV*).

Frutales de hueso: virus sharka (*PPV*).

Maiz: virus del enanismo rugoso (*MRDV*), virus del mosaico enanizante (*MDMV*), virus del mosaico de la caña de azúcar (*SCMV*).

Solanáceas: virus del bronceado del tomate (*TSWV*), virus de la cuchara o del enrollado amarillo del tomate (*TYLCV*), virus del mosaico del pepino dulce (*PepMV*), virus del mosaico del tomate (*ToMV*), virus de la clorosis del tomate (*ToCV*), virus del mosaico del pepino (*CMV*), virus del moteado suave del pimiento (*PMMoV*), virus de la patata (*PVY*).

Vid: virus del entrenudo corto y virosis afines de la vid (*GFLV*, *ArMV*), virus del enrollado de la vid (*GLRaV-1*, *GLRaV-3*).

Los viroides son cadenas de ARN, mucho mas cortas que las de los virus, difiriendo, también de ellos, en que no poseen la envoltura proteica. Al igual que los virus, sólo pueden replicarse en el interior de las células de otros organismos y son parásitos obligados. Producen unas 40 enfermedades en todo el mundo [4], afectando a plantas como

aguacate, patata, naranjo, limonero, manzano, coleo, crisantemo y cocotero, entre otras. Se citan los que siguen para el caso de España [140]. Viroide del manchado solar del aguacate (*ASBVd*), del enanismo del crisantemo (*CSVd*), de la hoja curvada de los cítricos (*CBLVd*), viroide III de los cítricos (*CVd-III*) y viroide IV de los cítricos (*CVd-IV*).

5.3. Nematodos

Los nematodos se clasifican como animales (reino Animalia), tienen aspecto de gusanos. Son también, un grupo de seres vivos muy numeroso y aunque se han descrito menos de 25000 especies, su número pudiera estar en torno al medio millón [46]. Los nematodos parásitos de plantas son muy pequeños y aunque algunos de ellos pueden tener varios milímetros de longitud, su pequeño diámetro les hace invisibles a simple vista. La mayoría son acuáticos, viviendo en el mar o en agua dulce, también muchos de ellos viven en el interior de animales, incluido el hombre, pero un cierto porcentaje vive en el suelo, donde se alimentan de organismos microscópicos o parasitan plantas [4][205]. Cuando su número en el suelo es muy alto, pueden dañar severamente a las plantas, e incluso producir su muerte, particularmente si son muy jóvenes.

Los principales grupos de nematodos que producen problemas en plantas son: agalladores (*Meloidogyne*), lesionadores (*Pratylenchus*), quísticos (*Globodera* y *Heterodera*, [200]) y del tallo y los bulbos (*Ditylenchus*) [205] [10]. Ver Figs. 5.1 y 5.2.

En cultivos hortícolas, los principales problemas debidos a nematodos son causados por infecciones del género *Meloidogyne* [144], en frutales, además del anterior, también producen daños los del género *Pratylenchus* [44]. En cantidades menores, es posible que su efecto no sea muy aparente, pero también causan daño y pueden producir disminución de cosecha [103].

Por grupos de cultivo, en [134] se citan los siguientes nematodos que pueden afectarles.

Almendro: *Meloidogyne*.

Brassicas: *Meloidogyne*, *Heterodera*.

Hortícolas de hoja: *Meloidogyne*.

Leguminosas: *Meloidogyne*.

Maiz: *Meloidogyne*, *Pratylenchus*.

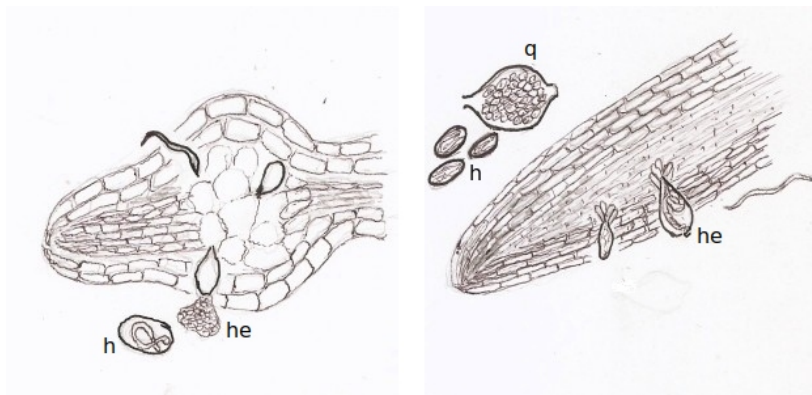


Figura 5.1. *Meloidogyne*, he: hembra con huevos, h: huevo [144].

Figura 5.2. *Heterodera*, he: hembra, h: huevos, q: quiste [200].

5.4. Plantas parásitas

Existen plantas superiores que han desarrollado órganos especiales (haustorios), los cuales penetran en el interior de otras plantas a las que parasitan. Hay relativamente pocas especies que produzcan enfermedades y daños importantes [4], este autor cita algunas mas en el mundo pero, en el caso de España, las que pueden tener cierta incidencia son las siguientes [140] [176], *Cuscuta spp.* (leguminosas y solanáceas, entre otras), *Orobancha spp.* o jopo (leguminosas, solanáceas, zanahoria, lechuga, tabaco), *Viscum spp.* o muérdago (sobre leguminosas y leñosas como abedul, abeto, chopo, majuelo, manzano, peral, pino o almendro).

Las semillas de las cuscutas germinan en el suelo y crecen hasta alcanzar la planta huésped a la que parasitan, se trata de organismos holoparásitos es decir, no pueden sobrevivir sin presencia de su huésped. Los jopos toman todos sus nutrientes de la planta a la cual parasitan, las semillas sólo germinan en presencia de raíces de dicha planta, por ello sólo puede sobrevivir a expensas de su huésped, también son organismos holoparásitos. El muérdago tiene hojas verdes fotosintéticas, toma agua y nutrientes del huésped, es hemiparásito. Ver Figs. 5.3 y 5.4.



Figura 5.3. Muérdago.



Figura 5.4. Cuscuta (c) y jopo (j). [196]

Capítulo 6

Control de enfermedades

6.1. Principios generales

En la Fig. 8.1, la superficie del triángulo indica la severidad de la enfermedad. En cualquier método de control, hay que procurar que dicha superficie sea lo menor posible, bien sea actuando sobre el patógeno, sobre las condiciones de medio o sobre la propia planta huésped.

Tradicionalmente se consideran una serie de principios que tienen su origen en un planteamiento inicial de Whetzel en 1929 [227] y que fueron ampliados por la National Academy of Sciences en 1968 [11] [13] [149]. Se formulan con los descriptores que se indican a continuación.

«Excluir». El objetivo es mantener el patógeno fuera de las zonas de producción. En lo que respecta a los modelos temporales de propagación que se verán en un capítulo posterior, actúa manteniendo a cero el valor de la cantidad de inóculo inicial y_0 .

«Evitar». Si el patógeno no puede mantenerse fuera de las zonas de producción, excluyendo el patógeno, entonces se intenta plantar en áreas con menor incidencia de la enfermedad y/o elegir un intervalo temporal en el cual el patógeno presenta mas dificultades para prosperar. Respecto de los modelos de propagación, el principio actúa sobre y_0 (cantidad inicial de inóculo) y sobre t (tiempo).

«Erradicar». Se utilizan prácticas que reduzcan la concentración inicial de inóculo (y_0) en su fuente.

«Protejer». Se incluye, en este caso, cualquier táctica que suponga una barrera física o química para proteger el cultivo. Generalmente se reduce y_0 pero también puede disminuirse el valor r (Tasa de infección).

«Resistencia». Supone manejar aspectos relacionados con la resistencia del huésped. En este caso se procura mantener y_0 en valores de cero o próximos a cero, también puede actuar sobre la tasa de desarrollo de la enfermedad r .

«Terapia». Se incluyen medidas que implican el tratamiento directo de una enfermedad ya presente, con el fin de curar la planta o aumentar su tiempo de supervivencia. Este tipo de medidas suponen reducir tanto y_0 como r .

6.2. Marco jurídico

A nivel europeo, el control de enfermedades se realiza en base a la llamada Gestión Integrada de Plagas (GIP), la cual se fundamenta en los planteamientos que se relacionan a continuación, tal como son recogidos por la correspondiente directiva del Parlamento Europeo y el Consejo [155].

1. La prevención o la eliminación de organismos nocivos debe lograrse o propiciarse, entre otras posibilidades, especialmente por: rotación de los cultivos, utilización de técnicas de cultivo adecuadas (por ejemplo, técnica de la falsa siembra, fechas y densidades de siembra, baja dosis de siembra, mínimo laboreo, poda y siembra directa), utilización, cuando proceda, de variedades resistentes o tolerantes así como de semillas y material de multiplicación normalizados o certificados, utilización de prácticas de fertilización, enmienda de suelos y riego y drenaje equilibradas, prevención de la propagación de organismos nocivos mediante medidas profilácticas (por ejemplo, limpiando periódicamente la maquinaria y los equipos), protección y mejora de los organismos beneficiosos importantes, por ejemplo con medidas fitosanitarias adecuadas o utilizando infraestructuras ecológicas dentro y fuera de los lugares de producción.

2. Los organismos nocivos deben ser objeto de seguimiento mediante métodos e instrumentos adecuados, cuando se disponga de ellos. Estos instrumentos adecuados deben incluir, cuando sea posible, la realización de observaciones sobre el terreno y sistemas de alerta, previsión y diagnóstico precoz, apoyados sobre bases científicas sólidas, así como las recomendaciones de asesores profesionalmente cualificados.

3. Sobre la base de los resultados de la vigilancia, los usuarios profesionales deberán decidir si aplican medidas fitosanitarias y en qué momento. Un elemento esencial para tomar una decisión es disponer

de valores umbrales seguros y científicamente sólidos. Cuando sea posible, antes de efectuar los tratamientos deberán tenerse en cuenta los niveles umbral de los organismos nocivos establecidos para la región, las zonas específicas, los cultivos y las condiciones climáticas particulares.

4. Los métodos sostenibles biológicos, físicos y otros no químicos deberán preferirse a los métodos químicos, siempre que permitan un control satisfactorio de las plagas.

5. Los plaguicidas aplicados deberán ser tan específicos para el objetivo como sea posible, y deberán tener los menores efectos secundarios para la salud humana, los organismos a los que no se destine y el medio ambiente.

6. Los usuarios profesionales deberán limitar la utilización de plaguicidas y otras formas de intervención a los niveles que sean necesarios, por ejemplo, mediante la reducción de las dosis, la reducción de la frecuencia de aplicación o mediante aplicaciones fraccionadas, teniendo en cuenta que el nivel de riesgo que representan para la vegetación debe ser aceptable y que no incrementan el riesgo de desarrollo de resistencias en las poblaciones de organismos nocivos.

7. Cuando el riesgo de resistencia a una medida fitosanitaria sea conocido y cuando el nivel de organismos nocivos requiera repetir la aplicación de plaguicidas en los cultivos, deberán aplicarse las estrategias disponibles contra la resistencia, con el fin de mantener la eficacia de los productos. Esto podrá incluir la utilización de plaguicidas múltiples con distintos modos de acción.

8. Los usuarios profesionales deberán comprobar la eficacia de las medidas fitosanitarias aplicadas sobre la base de los datos registrados sobre la utilización de plaguicidas y del seguimiento de los organismos nocivos.

Todos los usuarios profesionales de productos fitosanitarios en España, deben de cumplir los principios generales de la GIP la cual, se define en el Boletín Oficial del Estado [142] como “... el examen cuidadoso de todos los métodos de protección vegetal disponibles y posterior integración de medidas adecuadas para evitar el desarrollo de poblaciones de organismos nocivos y mantener el uso de productos fitosanitarios y otras formas de intervención en niveles que estén económica y ecológicamente justificados y que reduzcan o minimicen los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La gestión integrada de plagas pone énfasis en conseguir el desarrollo de cultivos sanos con la mínima alteración posible de los agroecosistemas y en la promoción de los mecanismos naturales de control de plagas”.

Se considera que ya siguen los principios generales de la Gestión Integrada de Plagas los productores acogidos a sistemas de producción certificada, como la producción ecológica o la producción integrada.

El manejo integrado de enfermedades, es un proceso que hace un uso coordinado de los principios vistos anteriormente, teniendo en cuenta la legislación correspondiente a la GIP. En los siguientes apartados se amplían comentarios sobre posibilidades de actuación.

6.3. Métodos que excluyen y evitan el patógeno

En este contexto, la exclusión se refiere a aquéllas medidas que pretenden mantener al patógeno fuera de un área determinada, puede tratarse de un país, una región o una zona mas restringida. Con esa finalidad hay determinadas entidades públicas, así como organizaciones supranacionales como es el caso de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección Vegetal (EPPO) a la cual pertenece España. Esta organización ayuda a los países miembros a identificar organismos nocivos, que no existen previamente en un lugar y pueden ser introducidos por diferentes medios, tales organismos se califican como "organismos de cuarentena". En la UE existe una normativa muy detallada, a nivel europeo, nacional y regional que se concreta en la actuación a tres niveles: inspecciones para detectar primeras entradas del patógeno, erradicación para impedir su establecimiento, en el caso de que la entrada se haya producido y el control para, en su caso, detener su avance.

Actualmente, uno de los principales patógenos de la UE es la bacteria *Xylella fastidiosa*, que puede afectar a gran cantidad de especies algunas tan importantes para nuestra agricultura como la vid, el olivo o el almendro. En el año 2013 se detecta, por primera vez un brote de la enfermedad en Europa afectando a olivos, concretamente en Italia, en 2016 se detecta la bacteria en un centro de jardinería de Baleares, en 2017 aparece en una plantación de almendros de Alicante y en 2018, en Madrid y Almería. Tras aplicar las correspondientes medidas, el brote de Almería se considera erradicado en la actualidad.

Una herramienta fundamental para el control de patógenos en su movimiento por el territorio de la UE, es el Pasaporte Fitosanitario que acompaña a los vegetales para acreditar, no sólo que los envíos van libres de plagas cuarentenarias, sino que también cumple con los niveles

de tolerancia exigidos para plagas reguladas que no son de cuarentena.

Con el fin de evitar los efectos de la enfermedad, existen diferentes métodos y prácticas que pueden aplicarse por parte del agricultor, eligiendo convenientemente el lugar donde situar ciertos cultivos o plantaciones, elegir adecuadamente variedades a cultivar, etc. Como se dijo anteriormente, la elección del intervalo temporal, al cual ajustar el cultivo, es también un factor importante de manejo con el referido objetivo.

6.4. Métodos culturales y medidas sanitarias

Hay una gran diversidad de medidas que persiguen eliminar (o disminuir lo máximo posible) focos de infección y dificultar la propagación del patógeno. Entre ellas, pueden citarse:

- Eliminar plantas enfermas o las partes afectadas.
- Eliminar especies alternativas y malas hierbas, que puedan hospedar al patógeno.
- Hacer rotación de cultivos.
- Recoger y eliminar residuos de cosechas (Fig. 6.2).
- Fertilizar evitando excesos o deficiencias de nutrientes .
- Hacer cultivos intercalares.
- Hacer enmiendas orgánicas (Fig. 6.5).
- Realizar podas y aclareos de la vegetación para evitar condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo de patógenos (Figs. 6.3, 6.1).
- Hacer podas procurando no dejar madera expuesta a una alta insolación, particularmente en el caso de especies mas sensibles a las quemaduras. También deben de mantenerse los frutos protegidos de la insolación excesiva.
- No utilizar marcos de plantación demasiado estrechos ni altas densidades de siembra.
- Regar convenientemente evitando la humedad excesiva.



Figura 6.1. Aclareo de la copa.



Figura 6.2. Soplado de hojas.

6.5. Métodos físicos

Entre este tipo de métodos se hace uso de aire o agua caliente para eliminar patógenos de semillas o material de propagación, también puede utilizarse agua o aire caliente para esterilizar el suelo por ejemplo en invernaderos o semilleros. Otro caso es la solarización del suelo, que consiste en extender una lámina de material plástico durante 4-6 semanas en meses de verano, el aumento de temperatura elimina patógenos del suelo.

Dentro de este tipo de métodos, se encuentra el uso de barreras físicas para proteger las plantas de insectos que propagan enfermedades (insectos vectores) como sucede con cierto tipo de insectos hemípteros que propaga la bacteria *Xylella fastidiosa*. Existen muchos otros patógenos, tanto de hongos y virus como bacterias, en los cuales, los insectos actúan para propagar la enfermedad. En general el control de esos insectos, ayuda a prevenir enfermedades en las planta.

Ademas de lo ya comentado en 6.4, el encalado de troncos, también protege de quemaduras solares (Fig. 6.4)



Figura 6.3. Retirada de restos de poda.

Figura 6.4. El encalado de troncos, aparte del beneficio para evitar plagas, también evita quemaduras por insolación excesiva.

6.6. Métodos biológicos. Importancia del suelo

El control biológico, supone la reducción de la densidad de inóculo o de la actividad de un patógeno mediante la utilización de uno o mas organismos, diferentes del hombre [50]. Esta práctica se propuso hace ya mas de 50 años y hay una gran demanda social para utilizar este tipo de métodos debido a la ausencia de residuos en los alimentos y a que no causan perjuicios para el medio ambiente, por ello, los biopesticidas son los mejores candidatos para sustituir o integrarse con los fungicidas sintéticos con el fin de producir alimentos de una manera sostenible. Sin embargo, actualmente hay muy pocos productos comercialmente disponibles comparados con los fungicidas químicos convencionales. Ello es debido a la dificultad que presenta la obtención de formulados con alto grado de eficiencia y estabilidad que, también, mantengan la viabilidad de las células durante el almacenamiento hasta la utilización del formulado [154].

Los organismos que se utilizan en control biológico pueden actuar de diversas formas , entre ellas:

- Compiten con el patógeno por espacio o nutrientes.

- Producen sustancias que son tóxicas para el patógeno (antibiosis).
- Directamente parasitan al patógeno produciendo su muerte (micoparasitismo).
- Se nutren de vectores transmisores del patógeno.
- Inducen respuestas de defensa en las plantas sobre las cuales se sitúan.

Entre los productos comerciales para lucha biológica [5], [125] [135] se encuentran los basados en *Bacillus Subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas chlororaphis* o *Pythium oligandrum*. Para aplicación al suelo se dispone de diferentes especies y cepas del hongo *Trichoderma* (Fig. 4.8). El estado de autorización, al igual que todos los productos fitosanitarios, debe de consultarse antes de su uso.

Las características del suelo no sólo tienen una influencia determinante en el desarrollo de las plantas y su estado sanitario (patógenos del suelo, enfermedades abióticas), también influye en el medio ambiente en general a través de diferentes procesos, incluso a nivel global con las emisiones de efecto invernadero y su potencialidad para secuestrar y almacenar carbono [79][68][157].

Hay una serie de características del suelo que determinan en gran medida lo que se conoce como su calidad, la cual se define como la capacidad para actuar dentro de los límites de ecosistemas naturales o artificiales para mantener la productividad de animales y plantas, mantener o aumentar la calidad del aire y el agua, así como ser sostén de la salud humana y la habitabilidad [110]. Las características de un suelo que determinan su calidad pueden ser de tipo físico (como textura, profundidad o capacidad de retener agua), químico (pH, contenido en carbono, contenido en nitrógeno mineral y orgánico o conductividad eléctrica) pero también biológico (como carbono y nitrógeno microbiano, nitrógeno potencialmente mineralizable o tasa de respiración. [177]) [201]. La calidad del suelo se suele utilizar como equivalente a la salud del mismo [90], la cual se entiende como su capacidad continuada para funcionar como un ecosistema vivo que mantiene plantas, animales y seres humanos. Para mantener y mejorar la salud del suelo, existen una serie de principios que, básicamente consisten en hacer mínimo laboreo, maximizar el número de raíces vivas, maximizar la cubierta y maximizar la biodiversidad [216], en este sentido, se conviene en que los microorganismos y sus procesos juegan un papel fundamental a la hora de determinar la salud del ecosistema. La materia orgánica del

suelo (MO), particularmente el humus o sustancias húmicas, es el componente que controla las funciones bióticas y nos informa sobre ellas [157], reduce la incidencia de enfermedades producidas por patógenos del suelo [32] y tiene un efecto dominante sobre la estructura y estabilidad del ecosistema. Hay una evidencia clara sobre la necesidad de mantener los niveles de MO e incrementarlos en aquéllos suelos que los tienen disminuidos (Fgs. 6.5, 6.6) [201].

La Agricultura de Conservación propone una serie de prácticas directamente relacionadas con los principios anteriores, entre ellas, la siembra directa, el mínimo laboreo (Fig. 6.5) con cubierta y las cubiertas vegetales [68, 67, 79, 80] (Figs. 6.7 y 6.8). Entre las prácticas contempladas en la Política Agraria Común (PAC), para el periodo 2023-2027, se plantean, lo que denomina ecorregímenes, relativos a prácticas ambientalmente sostenibles, entre ellas se citan la rotación de cultivos con especies mejorantes, islas de biodiversidad, cubiertas herbáceas y la siembra directa, todo ello, también en la línea de lo anteriormente expuesto.

Suelos supresivos de patógenos son aquéllos que impiden que el patógeno se establezca, si se establece, impiden que produzca enfermedad y, en el caso de que esta se llegue a producir, su incidencia va disminuyendo con el tiempo en sucesivos ciclos de cultivo. La supresividad de un suelo puede aumentarse mediante la adición de compost o una fuente de carbono y energía, y, en general, prácticas que mejoren el equilibrio biológico del suelo [51, 185, 86].

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que forman diferentes especies de hongos del suelo y las raíces de las plantas, entre los principales tipos, se encuentran las ectomicorrizas, las cuales forman un recubrimiento de raíces del cual surge una red de hifas que penetra intercelularmente en los tejidos de la raíz (red de Hartig) y las ya citadas vesículo-arbusculares (MVA o simplemente MA), estas últimas penetran en el interior de las células invaginando su membrana y formando estructuras ramificadas denominadas arbuscúlos así como otras estructuras globosas, con fines alimenticios que se denominan vesículas (Fig. 4.3). Los hongos que forman ectomicorrizas se distribuyen entre los ascomicetos, basidiomicetos y zigomicetos mientras que los formadores de MVA se encuentran entre los glomales (o glomeromicetes), como p. Ej. *Rhizophagus irregularis* (también denominado *Glomus intraradices*).

Entre los diferentes factores que promueven un aumento de la supresividad del suelo, se encuentran las citadas micorrizas [102], y particularmente las MVA, las cuales influyen en la supresión de hongos

y nematodos patógenos[193]. El aumento de micorrizas, sea aplicadas directamente o promoviendo las con las prácticas adecuadas de laboreo de conservación y rotaciones de cultivos, protegen a las raíces de la infección por patógenos [160][159][71][102].

Si los microorganismos nativos del suelo se muestran ineficaces para controlar la enfermedad, pueden hacerse incorporaciones de microorganismos específicos siguiendo las correspondientes estrategias, en este sentido, p. ej., se han utilizado diversas cepas no patógenas de *Rhizoctonia*, *Phialophora*, *Fusarium* y *Trichoderma* (Fig. 4.8)[47][211][7], además de lo anterior, también pueden aplicarse hongos micorrízicos (Fig. 4.3)[74][119] con la finalidad de reducir los daños producidos por las especies patógenas correspondientes o por otros hongos fitopatógenos. Entre los patógenos mas comunes, a los que se dirigen los tratamientos se encuentran *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* [201].

Pueden utilizarse también plantas en la lucha biológica, es el caso de ciertas especies (p. ej, tagetes o espárragos) que pueden usarse para disminuir la población de nematodos en el suelo, con diversos modos de acción, sin embargo, actualmente no se considera que proporcionen una protección efectiva para compensar el coste y los riesgos de su uso [4].

6.7. Inmunización y mejora de la resistencia

El uso de variedades resistentes es uno de los métodos mas efectivos para el control de enfermedades.

La resistencia en plantas puede ser de diferente tipo. Existe lo que se llama, resistencia «non-host» (no hospedante) que es la que poseen las plantas que no tienen las características requeridas para ser infectadas por un patógeno, o para las cuales ese patógeno no tiene ningún efecto, las plantas son inmunes al patógeno en cuestión. Un caso diferente es el de la resistencia horizontal (depende de muchos genes), en la cual, la reacción de las plantas (particularmente variedades de una misma especie), a una enfermedad determinada, puede diferir de una manera continua, desde muy resistente a muy susceptible, con lo cual, no es fácil establecer grados de resistencia con límites bien definidos (p. ej. muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto). Una enfermedad que puede ser devastadora para la vid, es el oidio. Pues bien, unas variedades parecen ser menos resistentes (tempranillo) mientras que otras parecen resistir mejor la enfermedad (albillo) [147]. A diferencia del caso citado, cuando



Figura 6.5. En suelos cultivados, es recomendable disminuir el laboreo y hacer aportes de materia orgánica, con el fin de mantener la calidad y favorecer el estado sanitario de las plantas.

Figura 6.6. Los estercolados, tan necesarios en condiciones alteradas del equilibrio natural, no se necesitan en los ecosistemas naturales para mantener la fertilidad, como sucede con esta selva del P. N. de Azagny en Costa de Marfil.



Figura 6.7. Cubierta herbácea en pistachos en la provincia de Ciudad Real en secano fresco, aunque con fuerte aridez estacional, suelo profundo de acetable calidad.

Figura 6.8. Cubierta herbácea en olivos en la provincia de Ciudad Real en riego por goteo, suelo muy erosionado con subsuelo muy arcilloso por lo que se hicieron caballones para la plantación.

las plantas tienen la resistencia de tipo llamado vertical (depende de uno o unos pocos genes), pueden ser totalmente resistentes a un patógeno.

Tanto los centros públicos de investigación como compañías privadas intentan obtener variedades resistentes, mediante métodos de mejora genética. No debemos, sin embargo, ocultar que la generalización de esas variedades, supone una mayor uniformidad genética, lo que les hace más vulnerables frente a eventuales epidemias.

Además de lo anterior, también hay cultivos que pueden dar buenas cosechas a pesar de estar infectados (resistencia aparente), se habla entonces de «tolerancia» a la enfermedad, un ejemplo puede ser el del almendro con diferente tolerancia a mancha ocre según variedades.

Para defenderse de los patógenos, las plantas utilizan diferentes mecanismos, que pueden ser de tipo físico como películas de cera o paredes fortalecidas, pero también, esos mecanismos pueden ser de tipo molecular y se muestran análogos a la inmunidad animal [172, 236, 31, 150, 232]. Desde el momento en que se comenzó a hablar de inmunidad vegetal, se entrevió la posibilidad de estimular el sistema de defensa de la planta, de tal manera que dicho sistema sea capaz de hacer frente

a una verdadera infección. Se ha comprobado que, cierto tipo de microorganismos, como virus y otros, pueden inducir resistencia contra otros patógenos [172]; también sucede que dicha resistencia puede ser inducida utilizando determinados compuestos químicos.

Existen ciertas moléculas en los patógenos, indispensables para su supervivencia, que son detectadas por plantas huésped potenciales. Tales moléculas se denominan patrones moleculares asociados a patógenos o PAMP por sus siglas en inglés (pathogen associated molecular pattern). Hay autores que los denominan MAMP, asociados a microorganismos en general. Algunos de esos tipos de moléculas son componentes de la pared celular de hongos como la propia quitina y en el caso de las bacterias, es bien conocida como tal la flagelina, una proteína asociada al flagelo.

El reconocimiento de los PAMP se lleva a cabo por moléculas del huésped, denominadas PRRs (receptores de reconocimiento de patrones), a partir de ese momento tiene lugar una primera fase de la reacción de la planta, conocida como PTI (inmunidad provocada por MAMPs). Puede suceder que ciertos patógenos son capaces de superar la PTI y liberan cierto tipo de moléculas (efectores) que, a su vez pueden ser detectados por la planta y producir una nueva reacción inmunitaria conocida como ETI (Inmunidad provocada por efectores) [108].

Existen moléculas señalizadoras que intervienen en esos procesos y regulan la defensa de la planta, un papel fundamental lo juegan el ácido salicílico, el ácido jasmónico y el etileno (Fig. 6.9), el primero de ellos mas vinculado a la resistencia frente a biotrofos y los otros a necrotrofos [150].

En los últimos años, se ha realizado un gran esfuerzo para la elucidación de los mecanismos del sistema inmune en plantas, lo que ha conducido a que, actualmente, se encuentren disponibles productos que, basándose en tales mecanismos, permiten a las plantas defenderse mejor de los patógenos. Entre tales productos se encuentran los basados en Acibenzolar-S-metil, Fosetil-Al o fosfonato potásico [136] [16].

Por otra parte, la mejora del vigor de la planta, con buenas prácticas culturales como fertilización, riego, drenaje...etc., con frecuencia les hace mas resistentes y les permite defenderse mejor del ataque de patógenos.

Los métodos que, en el control de enfermedades, utilizan la resistencia de las plantas, la mejora de la misma o su tolerancia, tienen la gran ventaja de que no suponen ningún tipo de toxicidad para humanos, animales y vida silvestre, tampoco producen contaminación ambiental.

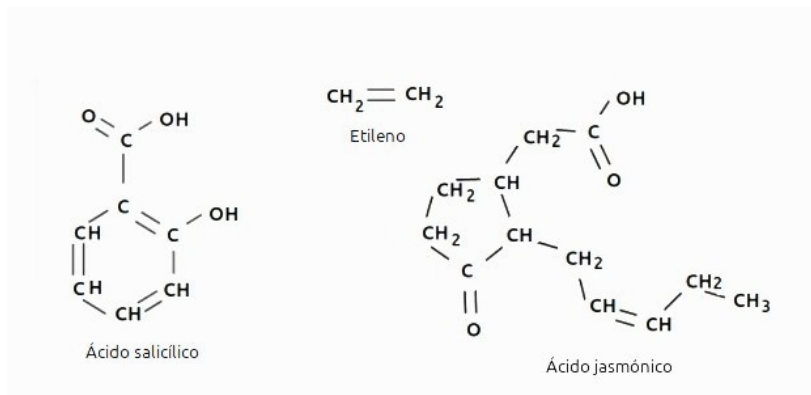


Figura 6.9. Los ácidos salicílico y jasmónico, junto con el etileno, juegan un papel fundamental en la respuesta de las plantas al ataque de patógenos.

Hacer una elección adecuada, tanto de la especie como de la variedad a sembrar o plantar y utilizar buenas prácticas de cultivo, puede evitar muchos quebraderos de cabeza, además de trabajo y coste económico.

6.8. Protección directa. Controles químicos

Los productos químicos son uno de los medios utilizados para controlar enfermedades en plantas, dependiendo del patógeno al cual están dirigidos se denominan fungicidas, bactericidas, nematocidas, viricidas o herbicidas (para plantas parásitas). Para conocer la disponibilidad de productos autorizados y su uso, puede consultarse el Registro de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación [136].

La gran mayoría de los productos químicos, utilizados para el control de enfermedades en plantas, son fungicidas. Hay diversas formas de clasificar los productos activos que contienen, entre ellas por el grupo químico al cual pertenecen y por la forma en que actúan. Es particularmente importante tener esto último en cuenta para evitar, en la medida de lo posible, la aparición de resistencias debido al uso continuado de productos que actúan de la misma forma sobre el patógeno. Los fungicidas que actúan sobre diferentes sitios y estructuras (sitios múltiples de modo de acción) como el cobre, el azufre, mancozeb, cap-

tán, folpet. etc., son considerados, de forma generalizada, como grupo de bajo riesgo sin signos de que, tales fungicidas desarrollen resistencia [72][2]. Bactericidas como las conocidas tetraciclina y oxitetraciclina son considerados de alto riesgo de inducir resistencia.

Dos fungicidas clásicos, hoy aún genéricamente utilizados, son el azufre y el cobre, el primero de ellos se utiliza desde la antigüedad clásica y el cobre desde aproximadamente 1885 (Millardet), cuando lo empezaron a usar los viticultores franceses. Ambos principios activos, tienen formulaciones autorizadas en control ecológico y presentan las siguientes características:

- El azufre es efectivo contra oidios, royas y otras enfermedades. Puede aplicarse en forma de polvo (espolvoreo) o en forma líquida (pulverización) a partir de polvo mojabable o directamente líquido (Figs: 6.11 y 6.12). Como ya se dijo en 7.5, no debe de usarse, hasta transcurrido un mes si se ha dado un tratamiento con aceite, ante el riesgo de fitotoxicidad. Tampoco deben de realizarse tratamientos si la temperatura es superior a 25-30 °C, de manera que se recomienda hacer las aplicaciones de madrugada o al atardecer. No está permitido el uso de azufre para el tratamiento de plantas cuyos frutos se van a destinar a conserva (p. ej. tomate) pero, como con todo producto fitosanitario, debe de verificarse su autorización para el uso concreto que se le da y leer detenidamente las instrucciones de la etiqueta.
- El cobre (Figs. 6.11, 6.12, 6.13 y 6.14) es efectivo contra gran variedad de enfermedades como mildius, antracnosis y muchas otras, incluso contra bacteriosis. Suele aplicarse de forma líquida (pulverización), también a apartir de formulaciones líquidas o en polvo. Tiene el inconveniente de que puede presentar fitotoxicidad, particularmente en hojas jóvenes. Entre otras, por esa razón se utiliza mucho en tratamientos de invierno y, como ya se ha dicho, se deben de seguir las recomendaciones de la etiqueta del envase.

Además de los dos clásicos citados, entre los grupos químicos que actualmente tienen componentes autorizados se encuentran los que se relacionan a continuación [72]. Se indica el modo de acción y el riesgo de producir resistencias en los patógenos, para intentar evitar dichas resistencias hay que propurar seleccionar productos de bajo riesgo por una parte y, por otra, alternar tratamientos con productos que tengan distinto modo de acción, particularmente si son de riesgo alto.

- Ftalimidas.- Sitio de acción múltiple, actividad por contacto. Riesgo bajo. Ejs. captan y folpet.
 - Triazoles.- Biosíntesis del esteroles en membranas. Amplio espectro de acción, no efectivos contra oomicetos. Riesgo medio. Ejs. penconazol, tebuconazol (Fig. 6.10), difenoconazol, tetraconazol, prothioconazol, triticonazol y propiconazol.
 - Strobilurinas.- Respiración, citocromo bc1. Amplio espectro, excelente actividad sobre los principales hongos fitopatógenos. Riesgo alto. Ejs. azoxystrobin, kresoxim-metil, picoxtrobin, pyraclostrobin y fluoxastrobin.
 - Fenilamidas.- Metabolismo de ácidos nucleicos, RNA polimerasa. Específico para oomicetos. Riesgo alto. Ej. metalaxil.
 - Fenilpirroles.- Transducción de la señal. Riesgo de bajo a medio. Ej. fludioxonil.
 - Anilino pirimidinas.- Aminoácidos y síntesis de proteínas. Riesgo medio. Ejs. pirimetanil y ciprodinil.
 - Amidas del ácido carbámico.- Biosíntesis de la pared celular. Riesgo bajo-medio. mandipropamida.
 - Carboxamidas.- Inhibidores de la succinato deshidrogenasa. Riesgo medio-alto. Ejs. boscalid, benzovindiflupyr, bixafen, fluxapyroxad, penthiopirad.
 - Benzamidas.- Inhibidores de la succinato deshidrogenasa. Riesgo medio-alto. Ej. fluopyram y flutalonalil.
 - Activadores de defensas.- Acción en relación con el ácido salicílico. Resistencia no conocida. Acibenzolar-S-metil.
 - Cianoacetamida oxima.- Modo de acción desconocido. Riesgo de bajo a medio. Activo contra peronosporales. Cimoxanilo.
 - Fosfonatos.- Inducción de defensa de las plantas. Riesgo bajo. Fosetyl-Al (Fig. 6.10).
 - Carbamatos.- Permeabilidad de la membrana celular. Riesgo de bajo a medio. Acción preventiva contra oomicetos. Propamocarb.
-

- Dinitro anilinas.- Respiración, fosforilación oxidativa. Acción preventiva. Riesgo bajo. Fluazinam.

Desde el punto de vista de su efecto sobre la enfermedad, un fungicida puede ser:

- Curativo, cuando interrumpe el desarrollo de una infección establecida que no muestra signos visibles de la enfermedad.
- Erradicante, cuando interrumpe el desarrollo de la enfermedad aunque se hayan producido síntomas visibles.
- Preventivo, cuando impide el desarrollo del patógeno en la superficie del vegetal, antes de que se produzca la infección, actuando como una barrera química.

Desde el punto de vista de su situación en la planta, los fungicidas pueden ser:

- De contacto, se mantienen en el exterior de la planta (se dice que se adsorben), proporcionan una capa protectora que previene la penetración del hongo, deben de aplicarse antes de que las esporas se depositen sobre la superficie de las hojas para impedir su germinación. Se necesita una aplicación cuidadosa ya que el control efectivo de la enfermedad requiere una buena cobertura. Su eficiencia se ve disminuida por el lavado por lluvia, degradación por la luz, etc. Su modo de acción sobre el tóxico, se dirige a múltiples objetivos con lo que el riesgo de inducir resistencia es muy pequeño. Suelen ser efectivos hasta una o dos semanas. Entre los de este tipo se encuentran el azufre, las sales de cobre, ftalimidas. Todos son fungicidas preventivos. No tienen efecto una vez la enfermedad se ha establecido.
- Penetrantes localizados (localmente sistémicos), penetran en el interior de la planta (se absorben), pero una vez en el interior no tienen ningún movimiento.
- Mesosistémicos también se absorben y tienen un movimiento trans laminar (también localmente sistémicos), en realidad no se mueven hacia arriba o hacia abajo por el interior de la planta, únicamente se mueven transversalmente a la hoja. Las estrobilurinas son curativos para ciertos patógenos y preventivos para otros.

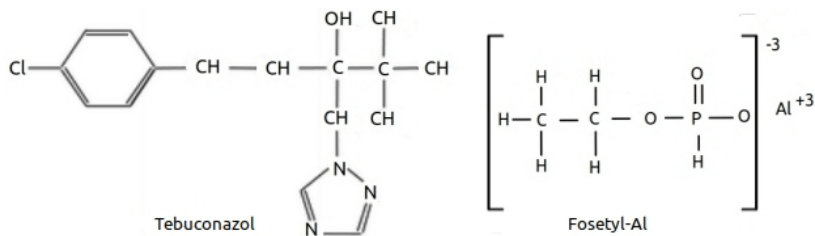


Figura 6.10. Fórmula química de tebuconazol y fosetyl-Al.

- Penetrantes acropétalos, se trasladan únicamente hacia las partes superiores, mediante la savia bruta, utilizando el xilema. Entre ellos están, flutalonil, metalaxil, propiconazol, tebuconazol y propamocarb. Generalmente curativos.
- Totalmente sistémicos (anfimóviles), tienen un movimiento, tanto hacia arriba como hacia abajo por el interior de la planta, utilizando tanto xilema como floema. El único de este tipo es el fosetyl-Al. Tiene efecto curativo, pero únicamente para los oomicetos (p. ej. mildius).

Debe de tenerse en cuenta que los fungicidas que penetran en el interior de la planta deben de aplicarse poco después de la infección inicial, ya que son ineficaces, una vez que el hongo empieza a producir esporas [24].

Entre los nematocidas, actualmente autorizados, se encuentran metam sodio (un isotiocianato), el carbamato oxamilo y el organofosforado fostiazato.

Los productos referidos no constituyen una relación exhaustiva ni son los únicos en las características que se indican. Se insiste en que hay que asegurar su autorización, lo que puede hacerse en la etiqueta del propio producto (número de registro) y en el registro de productos fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [136], es importante leer dicha etiqueta para ver precauciones y condiciones de uso.



Figura 6.11. Equipos manuales de tratamientos: pulverizador de émbolo y fuelle para espolvoreo

Figura 6.12. Polvos mojables para aplicar en pulverización: azufre y cobre (oxicloruro).



Figura 6.13. Cuba suspendida para tratamientos.

Figura 6.14. Tratamiento con fungicida en pulverización sobre plantación de almendros.

Capítulo 7

Factores ambientales y enfermedades abióticas

7.1. Tipos e incidencia

Las plantas crecen mejor dentro de ciertos rangos de los factores que constituyen su entorno ambiental original, entre los factores que pueden producir daños se encuentran las temperaturas extremas; la iluminación; la alta o baja humedad en el aire y en el suelo; la carencia de nutrientes; la salinidad; la contaminación tanto del aire como del suelo; o el pH de este último [4]. El daño producido por este tipo de factores no es contagioso, pero puede ser muy severo, también es de destacar que las enfermedades abióticas de las plantas, las pueden predisponer a la infección por patógenos [210], como puede suceder en los suelos hidromórficos asfixiantes, y en entornos con alta humedad atmosférica. Por ejemplo, esto último limita las zonas en que el pistachero puede cultivarse en mejores condiciones sanitarias [52].

7.2. Iluminación, temperatura y humedad ambiente

Las plantas, para realizar la fotosíntesis, necesitan luz en cantidad y calidad suficiente.

Desde el punto de vista humano, la luz es el tipo de radiación elec-

tromagnética cuyas longitudes de onda activan los receptores del ojo (conos y bastones) situados en la retina. Para las plantas, la luz es el conjunto de radiación electromagnética que pueden ver los humanos (luz visible) y una fracción de radiación infrarroja que no pueden ver los humanos. Ese conjunto de radiación se denomina Radiación Foto-sintéticamente Activa (PAR por sus siglas en inglés).

Conforme aumenta la intensidad de la iluminación, la planta va produciendo mas energía (azúcares); el momento en que esa intensidad luminosa es suficiente para cubrir las necesidades de respiración, se llama “Punto de Compensación”. También hay un momento en que, no aumenta la cantidad de energía producida, por mas que aumentemos la intensidad de la luz, esa circunstancia concreta se llama “Punto de Saturación”. Aparte de la intensidad en un instante dado, hay que considerar la duración diaria de la iluminación, ese conjunto se llama “Luz Diaria Integrada” (LDI). Las diferentes especies tienen unas necesidades de LDI que varían entre ellas [209]. Si la LDI es inferior a la necesaria, pueden aparecer problemas en el desarrollo de las funciones de la planta con disminución del diámetro de los tallos y aumento de longitud de los internodos (ahilado), las hojas adquieren un color verde claro y caen prematuramente, al igual que las flores [4] [210] (Fig. 2.19 y 2.20). Por ejemplo, en el caso del tomate en invernadero, la insuficiente iluminación produce exceso de vegetación, ahilado de la planta, dificultad en el cuajado y menor tamaño y calidad del fruto [83]. Esa condición de enfermedad, consecuencia de la falta de iluminación se conoce como etiolación .

En exterior, las plantas pueden no vegetar adecuadamente cuando están en espacios mas o menos confinados y sombríos y también cuando se encuentran muy próximas unas a otras (estrechos marcos de cultivo). Con frecuencia, también se ven plantas con una muy alta densidad de ramas y hojas, por lo que puede ser conveniente realizar operaciones de aclareo para que la luz penetre hacia el interior (Fig. 6.1). Esa carencia de iluminación, es muy común en interiores, donde el lugar que ocupan las diferentes especies, no siempre es bien elegido y suelen verse los correspondientes efectos, con situaciones muy penosas. Antes de adquirir una planta es fundamental considerar el lugar que va a ocupar y asesorarse bien de si tendrá buenas condiciones de iluminación.

Si la iluminación excede a la necesaria, tampoco la planta vegetará en buenas condiciones y, p. ej., en el caso del tomate de invernadero, citado anteriormente, se produce detención del crecimiento y presencia de frutos deformes [83]. En plantas ornamentales de interior, pueden

notarse los síntomas en las hojas, y los cambios bruscos de una posición mas sombreada a otra con mucha mayor iluminación pueden producir defoliación [4].

En diseño de jardines, donde puede haber especies de muy diversos orígenes, es fundamental elegir cuidadosamente el lugar que ocupen las diferentes plantas, según la exposición que tengan, distinguiendo claramente, p. ej., las que vayan a ocupar una posición de solana o de umbría, teniendo claro que, en estos casos hay una estrecha relación entre iluminación, temperatura y humedad.

La temperatura ambiental influye sobre la eficiencia con que las plantas realizan la fotosíntesis, las diferentes especies presentan unas temperaturas mínima, óptima y máxima, que pueden ser muy diferentes entre ellas. La mayoría de las especies vegetan bien entre 12 y 24 °C.

Además de la citada influencia sobre la fotosíntesis, un aspecto fundamental es, que la temperatura determina la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas y, en el caso de falta de agua, se producen condiciones de aridez que limitan o impiden el desarrollo normal de los vegetales. En este sentido, se considera la evapotranspiración potencial (*ETP*), debida a la evaporación del agua del suelo y a la transpiración de las plantas, ello, en el supuesto de suficiente disponibilidad en un suelo que, además está totalmente cubierto por la vegetación. El cálculo se hace mediante las siguientes expresiones para el método de Thornthwaite [207][63].

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a$$

Donde *ETP* es la evapotranspiración potencial en mm/día, *t* es la temperatura media mensual, *I* es el índice de calor anual que se obtiene sumando los 12 índices de calor mensuales *i*, siendo:

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

a es un coeficiente experimental de ajuste que tiene la forma:

$$a = A - B + C - D$$

siendo: $A = 675 \times 10^{-9} I^3$, $B = 771 \times 10^{-7} I^2$, $C = 1792I$, $D = 0,4924$

Los valores de la *ETP* obtenidos han de corregirse en función de la duración del mes y el número de horas de insolación teórica, variables en relación a la latitud. Puede verse cómo la *ETP* depende de la insolación y básicamente de la temperatura. Utilizando la diferencia mensual entre *ETP* y pluviometría (*P*), puede obtenerse la falta mensual de agua $F = ETP - P$ y, con ello, el índice de aridez, *Ia*, siendo:

$$Ia = 100 \frac{\sum_1^{12} F}{\sum_1^{12} ETP}$$

Las condiciones de aridez, p. ejemplo cuantificadas de la forma expuesta (existen otros métodos), determinan el tipo de vegetación que puede desarrollarse en condiciones naturales (cultivos de secano) y limitar en gran medida, el tipo de vegetación, sea natural o cultivada, adecuada para el lugar en cuestión. Además de la agricultura profesional, esto es particularmente importante en diseño de jardines, donde debe de ponerse especial cuidado en el tipo y lugar en que se sitúan unas especies lo que es fundamental si no se utiliza riego, como sucede en xerojardinería.

Otro aspecto fundamental en relación con el efecto de las temperaturas sobre las plantas son las horas frío y horas o unidades de calor que reciben anualmente. Las plantas y particularmente los frutales, para vegetar y producir adecuadamente, tienen unas necesidades de esos factores que deben de ser cubiertos adecuadamente y esto puede variar entre especies, pero también entre unas variedades y otras dentro de una misma especie [52].

Para el cálculo de horas frío diarias (HF), puede utilizarse el procedimiento que se expone a continuación, donde *Tmax* y *Tmin* son las temperaturas máximas y mínimas diarias [53][75].

$Si, Tmax \leq 7^{\circ}C, HF = 24$, $Si, Tmin \geq 7^{\circ}C, HF = 0$ en otros casos $HF = 24 \frac{7 - Tmin}{Tmax - Tmin}$

Para el cálculo de horas de calor diarias (HC), puede utilizarse el procedimiento que se expone a continuación [53][75].

$Si, Tmax \leq 30^{\circ}C, HC = 0$, en otros casos $HC = 24 \frac{Tmax - 30}{Tmax - Tmin}$

Esto determina, por ejemplo en muchos frutales [81] o frutos secos la zona en que las variedades correspondientes deben de cultivarse, p. ej. la variedad Larnaka de pistacho tiene menores necesidades de frío que la variedad Kerman, siendo mas adecuada que ésta, para los lugares en los cuales no se puedan cubrir esas necesidades.

Dependiendo de su origen, ciertas especies de plantas pueden ser muy sensibles a las altas temperaturas, como sucede con las que proceden de climas fríos (Fig. 7.5); en este caso se puede detener el crecimiento si las temperaturas altas se prolongan mucho en el tiempo, pero, además si, junto con esas temperaturas extremas, se produce falta de humedad en el suelo, la situación se ve considerablemente agravada. Muchas especies, en estas circunstancias muestran síntomas en los márgenes de las hojas y puede producirse también defoliación, e incluso la muerte de la planta. Incluso especies propias de nuestro clima mediterráneo, particularmente las adaptadas a zonas frescas y de umbría, pueden sufrir las consecuencias de la insolación directa y la aridez (Figs. 7.6 y 7.3). Pueden producirse quemaduras muy severas en tronco, ramas, hojas, tallos y frutos. Esto es particularmente apreciable en las orientaciones al suroeste o solanas (Figs. 7.8 y 7.9).

La baja humedad atmosférica también puede hacer que la planta no vegete adecuadamente, como sucede en plantas de interior, muchas de las cuales proceden de climas tropicales (). Pueden producirse marchitamientos, quemaduras, caída de flores y hojas, etc., siendo conveniente e incluso necesario (dependiendo de las especies), utilizar humidificadores o hacer pulverizaciones de agua sobre las hojas. En esas plantas de interior, siempre hay que evitar posiciones cerca de radiadores y otras fuentes de calor.

Según su estado de desarrollo, las plantas tolerarán mejor o peor las temperaturas extremas, al igual que sucede con los diferentes órganos y tejidos de las mismas, así, las yemas, las flores y los frutos recién cuajados son particularmente sensibles a las heladas tardías [182] (Figs. 7.2, 7.1 y 7.4). El riesgo de que se produzcan ese tipo de sucesos, determina también el tipo de cultivos y el calendario que se sigue. Así, por ejemplo, en el caso de frutales u hortícolas, como el tomate o el pepino, con un adelanto de la recolección pueden conseguirse mejores precios. También el adelanto de siembra o recolección puede suponer menor exposición a plagas o enfermedades. Pero el adelanto de siembra o el uso de variedades extratempranas de frutales [81] hace que estén mas expuestos a las heladas tardías y requerirse, en su caso, medios auxiliares de defensa (microtúneles, invernaderos, estufas, torres antihelada, etc.).



Figura 7.1. Daños por helada en caqui.



Figura 7.2. Daños por heladas en albaricoquero.



Figura 7.3. Daños por altas temperaturas en peral.



Figura 7.4. Daños por frío en tomate.



Figura 7.5. Síntomas de altas temperaturas en grosellero, esta especie necesita una exposición con cierto sombreo para tolerar las irradiación solar tan fuerte del verano en Madrid.

Figura 7.6. Síntomas de altas temperaturas en rusco, situado en una exposición al sur en Ciudad Real. Aunque hay un rusco (silvestre) que vegeta bien bien en condiciones naturales en la zona, sin embargo, suele encontrarse en ámbitos sombreados .



Figura 7.7. Quemaduras en fruto y hoja de manzano.

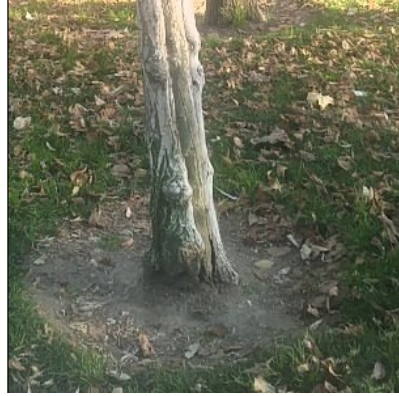


Figura 7.8. Quemaduras de nispero en tronco y ramas, con orientación Sur.

Figura 7.9. Quemadura en tronco de fresno, con orientación Oeste.



*Figura 7.10. Las mejores condiciones para una especie son las que mas se asemejen a las de su lugar de origen. En la foto de la izquierda puede verse un *Ficus elastica* en un piso de Tres Cantos (Madrid) y en la de la derecha, otro ficus de la misma especie en un jardin del «plateau» de Abiyan.*

7.3. Propiedades del suelo

Hay diferentes propiedades del suelo, tanto de naturaleza física como química que pueden influir negativamente sobre el desarrollo de las plantas [113] (Fig. 7.11).

Cuando hablamos de la textura de un suelo, nos estamos refiriendo al porcentaje relativo de arena, limo y arcilla que hay en el mismo. Según la mayor o menor cantidad de uno u otro constituyente, hablamos de textura arenosa, limosa, arcillosa, franca (equilibrado), etc.

La estructura de un suelo se refiere a la forma de unirse que tienen las partículas minerales y orgánicas, constituyendo agregados. Los poros existentes entre las partículas individuales del suelo, constituyen la porosidad primaria, en tanto que los existentes entre los agregados, determina la porosidad secundaria, esta última es fundamental para la circulación del aire y agua en los suelos de textura fina (franco-arcillosos, arcillosos,...). La porosidad primaria depende del tipo de textura y afecta a la capacidad de almacenar agua.

Es fundamental mantener el suelo suficientemente aireado, con una buena porosidad (mullido) y para ello es muy importante mantener la estructura. En suelos labrados, en otoño, cuando la superficie esta “desnuda”, la lluvia ayuda a la destrucción de los agregados ya debilitados por el laboreo. Otro enemigo de la porosidad es la compactación. Hay que evitar transitar por el suelo cuando este esta húmedo, después de las lluvias, que es cuando más se compacta.

El exceso de agua (encharcamiento) que se produce cuando disminuye la drenabilidad del suelo es perjudicial por propiciar la asfixia radicular (Figs. 7.12y 7.13) y también porque genera unas condiciones que favorecen el desarrollo de patógenos del suelo, como *Pythium* y *Phytophthora* [39]. En el extremo opuesto, la falta de humedad disponible para los cultivos puede ser un gran problema ya que, dependiendo de la textura, gran parte del agua retenida por el suelo puede estarlo a una tensión de humedad superior a la que las plantas pueden superar para extraerla [69], (Figs. 7.16, 7.17, 7.18y 7.19).

Para ciertas especies o variedades y condiciones de cultivo, es frecuente el rajado de frutos a causa de aumentos bruscos de la humedad del suelo, esto sucede, por ejemplo, en verano durante el crecimiento del fruto, después de algun episodio de lluvia. Es muy común cuando hay condiciones de riego deficitario o incluso secano como puede suceder con el granado (Figs. 7.20 y 7.21).

Las diferentes especies tienen unas preferencias de pH, que se tra-

ducen en un intervalo bajo el cual vegetan adecuadamente, fuera de ese intervalo se presentan dificultades para su desarrollo [20], lo que está muy relacionado con su origen así, las plantas procedentes de ambientes tropicales y subtropicales y en general de zonas muy lluviosas, con suelos muy lavados, prosperaran mejor en suelos ácidos. Por el contrario, las procedentes de zonas aridas y semiáridas, con suelos poco o nada lavados, prosperaran mejor en suelos básicos. El pH ideal de un suelo podría ser ligereamente ácido, en torno al 6,5, pero esto varía con el tipo de suelo y, también, como se ha dicho, con el tipo de planta, pero esto no se puede generalizar. En tierras arcillosas pueden soportarse sin problemas valores de pH superiores al citado e incluso algo menores del referido en los suelos ligeros y silíceos [89]. Existen unos rangos de pH que son los mas adecuados para la asimilación de nutrientes; cuando el pH de un suelo está alejado de esos valores, se presentan carencias o toxicidades (Fig. 7.27), como sucede con el calcio (Ca) en pH demasiado bajos (Figs. 7.24 y 7.25), pudiendo, en estos casos llegar a aparecer toxicidades como la del aluminio (Al). Los altos valores de pH pueden producir carencias de hierro (Fe), cinc (Zn) y cobre (Cu) [89][113] (Fig. 7.26).

La alta concentración de sales en el suelo, o sustrato de cultivo es por lo general consecuencia de un mal manejo del agua de riego, con volúmenes de agua de drenaje insuficientes, es fuente de dificultades para el normal desarrollo de las plantas ya que la abundancia de sales solubles propician que la presión osmótica del agua del suelo sea mas alta que la que hay dentro de las raíces de la planta y entonces, el agua no puede pasar del suelo al interior de la raíz, sino que hay tendencia a que la planta pierda su agua e incluso llegue a morir por sequía [69]. Al igual que sucedía con el pH, en los ambientes salinos naturales, prosperan plantas perfectamente adaptadas a vivir en esas condiciones, como las salicornia, suedas, limonium. . . (Figs. 7.14 y 7.15).

7.4. Elementos nutritivos

En los tiempos en que el estiércol era prácticamente el único abono conocido, se pensaba que las plantas tomaban sus alimentos del suelo en forma orgánica, pero, desde 1823 (Liebig) se sabe que la planta no utiliza el estiércol tal como se aporta, sino que lo que hace es absorber las sustancias minerales que hay en el suelo y que proceden, bien sea de la mineralización de la materia orgánica y el humus, de la movilización



Figura 7.11. Confinamiento de raíces. Debido al tamaño del contenedor, con frecuencia la cantidad de sustrato disponible, acaba siendo pequeña, produciéndose problemas para el desarrollo. En las imágenes puede verse la diferencia entre unos palmitos en Madrid y un cocotero en Abiyan.



Figura 7.12. El encharcamiento de larga duración puede afectar incluso al arbolado de gran porte.

Figura 7.13. Ciertas especies están adaptadas a condiciones de hidromorfismo o francamente al medio acuático, como sucede con este manglar de Grand Lahou en Costa de Marfil.



Figura 7.14. Cristales de sal en el agujero del drenaje.



Figura 7.15. Aspidistra con síntomas de salinización, las sales son visibles en el exterior de la maceta de arcilla.



Figura 7.16. Síntomas de estrés por falta de agua en cotoneaster.



Figura 7.17. Síntomas de estrés por falta de agua en bambú.

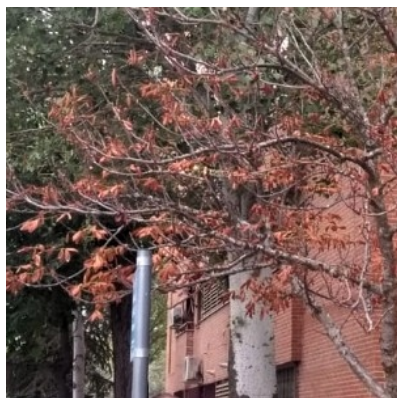


Figura 7.18. Falta de agua en castaño.



Figura 7.19. Falta de agua en tilo.



Figura 7.20. Rajado de granada por lluvia.



Figura 7.21. Rajado de tomate por aumento brusco de humedad.

de nutrientes minerales del suelo o del aporte de abonos, lo último, como se verá después, en el caso de los suelos de los ecosistemas alterados por el hombre como los agrícolas, de jardines, etc. (Fig. 7.22). Así pues, para producir su propia materia viva, los vegetales verdes necesitan agua, nutrientes minerales y anhídrido carbónico, con la condición de recibir luz, se denominan productores primarios. A diferencia de los animales que se alimentan de materia mineral y materia orgánica que proviene de vegetales, de otros animales o de ambos y que reciben el nombre de productores secundarios. Por tanto, los nutrientes minerales en solución en el agua del suelo son el alimento necesario para las plantas.

Los principales elementos nutritivos de las plantas son Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Necesitan también otros elementos en menores cantidades como Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). Finalmente necesitan otros en muy pequeñas cantidades como Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdeno (Mo) y Cloro(Cl).

Las necesidades de los cultivos varían mucho de unos a otros, y dependen de la producción, P. ejemplo, según [164], el Tomate necesitaría de 200-240 Kg de N, 65-90 Kg de P y entre 300 y 330 Kg de K. Para el caso del Melocotonero [66], se podrían necesitar unos 85 Kgs de N, 45 de P y 95 de K. Si, las plantas no obtienen todos los nutrientes que necesitan, puede suceder que no produzcan lo esperado o incluso que enfermen por algún tipo de carencia.

No debe de considerarse que lo mineral es algo que está en oposición a orgánico, sino que se trata de dos fases sucesivas fundamentales en la alimentación de la planta.

La riqueza en elementos nutritivos de un suelo se determina mediante análisis, que llevan a cabo laboratorios especializados, en la Fig. 7.1 se muestra un ejemplo y los valores de referencia para interpretar el resultado (Deficiente, Óptimo, Tóxico).

En la detección de posibles carencias de elementos nutritivos, puede ayudar la inspección visual, pero la apreciación debe de ser confirmada mediante un análisis, sea éste de suelo o de hoja. Una característica diferencial de estos síntomas, respecto de la mayoría de los que tienen otro origen, es que los síntomas aparecen distribuidos de manera simétrica en las hojas y además, los síntomas, si son localizados, se distribuyen según la edad de los órganos afectados y también en función de la estructura vegetativa.

Hay tres tipos de síntomas básicos, clorosis (N, Fe, Mg y S), necrosis (N, P, K) y crecimiento anormal, estos últimos puede producirse cuando

Ensayo	Resultado	Deficiente	Óptimo	Tóxico
pH(1/2,5)	7,10	—	5,5-8,6	—
Conduct (1/5) $\mu S/cm$	84	—	—	>200
N total (%)	0,11	—	0,11-0,20	—
P (ppm)	14,5	<11	20-30	—
K (meq/100 gr suelo)	0,41	—	0,61-0,90	—
MO total (%)	0,81	<0,9	2-2,5	—
Relación C/N	3,27			
Ca (meq/100 gr suelo)	11,72	<3,5	10-14	—
Mg (meq/100 gr suelo)	3,24	<0,6	1,6-2,5	—
Fe (ppm)	20,91	<3	>5	—
Mn (ppm)	29,51	<1	>1,5	—
B (ppm)	0,04	<0,5	1-5	>5
Cu (ppm)	0,53	<0,2	>0,2	—
Zn (ppm)	0-1,96	<0,5	>1	—
Na (meq/100 gr suelo)	0,18	0-0,3	0,6-1	>1,5

Cuadro 7.1. Ejemplo de análisis del contenido en elementos nutritivos de un suelo.

determinado elemento no llega a proporcional el nivel que necesita el desarrollo de los tejidos.

Por otra parte, hay unos elementos que se mueven mejor que otros por el interior de la planta y, por ello se puede producir la traslocación desde las hojas mas viejas a las mas jóvenes, aparecienco los sintomas en las primeras, eso sucede con N, P, K, y Mg. Por contra, hay otros elementos que tienen una movilidad reducida y los síntomas aparecen en las hojas jóvenes (Ca, S, y la mayoría de los micronutrientes).

Hay ciertas propiedades del suelo que, a este respecto, son muy importantes, así, los suelos con pH alto, son mas propensos a provocar carencias de Cu, Fe, Mn y Zn, mientras que en los de pH bajo, es más fácil que se produzcan carencias de S, Ca, Mg y Mo. También sucede que, en los suelos con una concentración de materia orgánica (MO) muy alta, pueden llegar a producirse carencias de K, Cu y Mn, mientras que, si es demasiado baja, son mas fáciles las carencias de S, K, P, B y Zn [141][163].

En las Figs. 7.23,7.24, 7.25, 7.26 y 7.27, se muestran ejemplos de los síntomas que se presentan, como consecuencia de carencias nutricionales.



Figura 7.22. Estiércoles y abonos químicos. De izquierda a derecha: estiércol muy hecho, estiércol pajoso, abono complejo 15-15-15 (N-P-K) y abono para disolver y ser aplicado en pulverización.

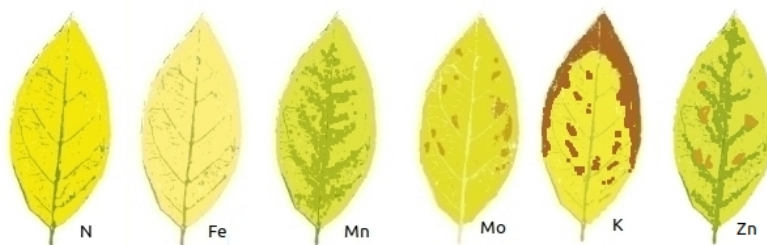


Figura 7.23. Síntomas esquematizados de algunas carencias nutricionales, pueden variar de unas especies a otras, incluso entre variedades. N: Nitrógeno, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Mo: Molibdeno, K: Potasio, Zn: Cinc.



Figura 7.24. Deficiencia de calcio en calabacín en Tres Cantos, son suelos sobre materiales graníticos, ligeramente ácidos y con escaso contenido en Ca.

Figura 7.25. Podredumbre apical por deficiencia de calcio, el tomate procedede un mercado de Abiyan, en estas zonas con un clima tropical, los suelos están muy lavados y, una vez que pierden su cubierta vegetal original, se empobrecen rápidamente en nutrientes.



Figura 7.26. Carencia nutricional en vid, debido a la alcalinización del suelo por incorporación de ceniza.

Figura 7.27. Carencia nutricional en hortensia en sustrato con pH bajo.

7.5. Productos fitosanitarios y contaminantes atmosféricos

En la lucha contra plagas y enfermedades, pueden utilizarse diferentes tipos de productos que, mal usados, pueden producir daños en las plantas, algunos muy severos. En este sentido, siempre deben de tenerse muy en cuenta las recomendaciones que se hacen en la etiqueta del producto, particularmente en lo que se refiere a las dosis y condiciones de aplicación. Hay productos, como el cobre que, a partir de ciertas dosis, son fitotóxicos. Cuando se quiere utilizar mas de un producto en un mismo tratamiento debe asegurarse que la mezcla es compatible y que no producirá daños en las plantas. En ciertos casos la mezcla produce precipitados que impiden su aplicación y, también, puede producirse fitotoxicidad. En caso de duda, sería conveniente hacer un ensayo de mezcla en un envase pequeño y probar en alguna planta o parte de ella, antes de un tratamiento generalizado.

No se recomienda el tratamiento conjunto de aceites minerales insecticidas con fungicidas a base de azufre, ello por problema de fitotoxicidad y debe de dejarse un tiempo suficiente (en torno a un mes) entre tratamientos con dichos productos. También el tratamiento con altas



Figura 7.28. Daño por deriva de herbicida en plantón de almendro.



Figura 7.29. Daño por deriva de herbicida en colleja.

temperaturas de productos como el azufre, puede producir quemaduras en las plantas, por ello deben de evitarse aplicaciones de ese producto con mas de 30°C.

Un caso de particular riesgo es el uso de herbicidas para el control de malas hierbas. Los tratamientos deben realizarse maquinaria y dispositivos adecuados (campanas, pantallas,...) para proteger las plantas a las que no se dirige el producto. Por ello, nunca deben de realizarse tales tratamientos si hay viento por pequeño que sea.

Los contaminantes atmosféricos, también pueden producir daños por toxicidad en plantas, incluyendo el ozono y el dióxido de azufre que se producen por vehículos a motor de combustión. A veces los síntomas se confunden con los de enfermedades de otro origen. En zonas rurales, este tipo de contaminación no suele suponer un riesgo, pero en áreas urbanas e industriales sí pueden notarse sus efectos. Así mismo, dependiendo de la concentración de dichos contaminantes. P. ej. los óxidos de azufre y nitrógeno, de la atmósfera pueden ser arrastrados por la lluvia y producir el fenómeno conocido como «lluvia ácida» dañando a plantas y otros seres vivos en amplias zonas e incluso al mismo suelo.



Figura 7.30. Daños por nevada en olmo.

Figura 7.31. Daños por maquinaria en arce negundo.

7.6. Daños mecánicos

En las plantas pueden producirse daños de carácter mecánico por diferentes motivos, como el uso incorrecto de maquinaria y herramientas, con lo cual, puede producirse rotura de ramas, podas incorrectas, rotura de raíces por laboreo, descortezados en la base de árboles por segadoras y desbrozadoras, etc. [7.31](#).

Aunque los daños por animales, no sean propiamente de carácter abiótico, si que el resultado puede ser parecido a los de tipo mecánico producido por las otras causas que se refieren en este apartado. Animales como conejos, jabalíes, corzos, etc. pueden producir daños muy serios y en algunas zonas suponer un gran problema [7.30](#).

Adversidades meteorológicas como fuertes vientos, granizadas, precipitaciones intensas, etc., también pueden producir grandes problemas que van desde caídas o daños en flores, frutos, hojas y tallos, hasta la rotura de ramas, arruinando cosechas y comprometiendo la supervivencia de cultivos [7.30](#).

Estos daños mecánicos, además del efecto directo inmediato sobre el normal desarrollo de las funciones de las plantas, pueden facilitar el ataque de ciertos patógenos, cuyos efectos se sumarán a los daños directos, por ello, tras esos episodios, suele ser conveniente realizar tratamientos que protejan a las plantas y procuren fortalecerlas para superar tales circunstancias.

Capítulo 8

Epidemiología

8.1. Desarrollo y cuantificación de la enfermedad

El desarrollo de la enfermedad en una población de plantas está determinada, inicialmente, por las interacciones entre tres factores fundamentales, tales son: la presencia de un huésped susceptible, la presencia de un patógeno con cierto grado de patogenicidad y la concurrencia de un ambiente favorable. Todos influyen de igual manera y ninguno es mas importante que otro [161]. La enfermedad no se producirá si no existe alguno de dichos factores, es decir, si no hay patógeno virulento, no existe planta susceptible o bien las condiciones ambientales no son adecuadas. Este esquema conceptual se conoce como triángulo de la enfermedad (Fig. 8.1), en el cual, la longitud de cada lado es proporcional al grado con que se producen los tres factores referidos y la superficie interceptada es una cuantificación de la enfermedad en cuestión.

A lo largo del desarrollo de una enfermedad, se produce una cadena de situaciones o sucesos, incluyendo el desarrollo del patógeno y los efectos de la enfermedad sobre la planta, dicha serie de sucesos se conoce como ciclo de la enfermedad y suele ajustarse bastante bien a las diferentes etapas del ciclo biológico del patógeno, aunque en el caso que nos ocupa, se refiere a la enfermedad misma y no propiamente al patógeno que la produce.

Se llama inóculo a cualquier parte del patógeno capaz de iniciar una infección, en el caso de hongos, puede tratarse de esporas de origen

asexual (Figs. 4.23, 4.7, 2.78 y 2.77), esporas de origen sexual (Figs. 4.23 y 4.6) o estructuras de resistencia como fragmentos de micelio (Fig. ??), rizomorfas (hebra gruesa constituida por hifas que han perdido su individualidad), clamidosporas (estructura redondeada de paredes gruesas, Fig. 4.7) o esclerocios (cuerpo oscuro y duro que se forma por apelonamiento de hifas, Figs. 4.9, 4.26). En el caso de bacterias, mollicutes, protozoos, virus y viroides, el cuerpo del patógeno, en su conjunto, constituye el inóculo. Una unidad de inóculo recibe el nombre de propágulo [4].

El ciclo de la enfermedad [210] (Fig. 8.2) comienza con la llegada del inóculo (inoculación). Tras ello, el patógeno accede al interior del huésped (penetración). En ciertos casos, particularmente en virus, algunas bacterias y protozoos, el patógeno se sitúa directamente en el interior de las células de la planta por determinados organismos (p. ej. insectos, Fig. 4.12) conocidos como vectores, en otros penetran a través de aberturas naturales como estomas, lenticelas o hidatodos, y también a través de los límites de pelos radiculares. Los estomas son estructuras de la parte aérea de las plantas que se encargan del intercambio gaseoso e hídrico con la atmósfera. Las lenticelas son estructuras lenticulares para intercambio gaseoso. Los hidatodos son estructuras que descargan agua y algunas sustancias disueltas desde el interior de las hojas hasta la superficie.

Determinados patógenos, pueden penetrar de manera directa, formando en el interior de las células del hospedante un órgano de absorción conocido como haustorio (Fig. 4.23), o situarse debajo de la cutícula como en algunos hongos. En ciertos casos, antes de la penetración, se produce una adhesión a la superficie formando un apresorio que es una estructura especializada que genera presión sobre la superficie vegetal y, a partir de ello, desarrollan el micelio que puede penetrar directamente en el interior de las células de la planta o situarse en los espacios intercelulares, pudiendo, en este último caso, emitir haustorios al interior de las células (Fig. 3.4).

Una vez en el interior, el patógeno obtiene nutrientes de las células o tejidos del huésped, es la etapa de infección propiamente dicha, como consecuencia de ello, el patógeno crece y se reproduce (colonización), obteniéndose nuevo inóculo.

Como ya se ha dicho, los hongos se reproducen mediante esporas que pueden tener un origen asexual (Figs. 2.77 y 2.78 y 8.3), estas pueden proceder de una sola célula del individuo, mediante un proceso de mitosis (división de núcleos), como las yemas de una planta, a partir

de las cuales, mediante p. ej. técnicas de injerto, se puede reproducir el individuo con las mismas características genéticas que aquél del cual proceden, esas esporas también se llaman mitosporas. En otros hongos y oomicetos que poseen citoplasmas multinucleados, las esporas asexuales se obtienen por división del citoplasma. Las esporas también pueden tener un origen sexual (Fig. 8.4), con intervención de dos células madres, las cuales, tras su unión, sufrirán un proceso de meiosis (reducción del número de cromosomas a la mitad), por ello este tipo de esporas también se llaman meiosporas.

Las plantas parásitas se reproducen mediante semillas, al igual que las plantas superiores. Las bacterias se reproducen por fisión o división de un individuo. Los virus y viroides no pueden reproducirse de manera autónoma, necesitando las células de la planta huésped para hacerlo. Finalmente, los nematodos se reproducen mediante huevos.

El nuevo inóculo, que surge con la reproducción, se propagará y volverá a producir una nueva inoculación (inóculo secundario), o pasará un periodo de supervivencia por muerte de las plantas huésped (por ejemplo debido a la aridez del verano o al frío del periodo invernal), tras este periodo de supervivencia, este otro tipo de inóculo (primario), producirá nueva inoculación.

A consecuencia de la infección pueden producirse alteraciones respecto de la normalidad, que son los síntomas de la enfermedad. El tiempo que transcurre entre la inoculación y la aparición de dichos síntomas se conoce como periodo de incubación.

Considerando lo anterior, las enfermedades pueden clasificarse como monocíclicas, policíclicas o poliéticas. En el caso de las monocíclicas, el patógeno no completa mas de un ciclo biológico por año, en ellas sólo existe la vía de propagación del inóculo primario, es el caso de los carbones y tizones, así como enfermedades del suelo como podredumbres radiculares y marchitamientos vasculares. Las que necesitan mas de un año para completar el ciclo, reciben el nombre de poliéticas, entre ellas están ciertas royas, la tristeza de los cítricos o la grafiosis del olmo.

En las enfermedades policíclicas, se produce mas de una generación del patógeno por estación de crecimiento, utilizan las vías de inóculo primario y secundario. En este caso, el inóculo primario son esporas de origen sexual o bien otro tipo de estructuras de resistencia, como las referidas anteriormente. El inóculo secundario son esporas asexuales. Entre las enfermedades de este grupo se encuentran mildius, oídios, manchas foliares y otras muchas.



Figura 8.1. Triangulo de la enfermedad infecciosa.

Figura 8.2. Ciclo general de la enfermedad infecciosa.



Figura 8.3. Oidio en rosal, puede verse el micelio blanco, sobre la superficie de las hojas con esporas de origen asexual (conidios).

Figura 8.4. Cleistotecios sobre micelio de oidio en la superficie de la hoja. Puede verse que presentan diferente estado de madurez, según su color, los cleistotecios contienen esporas de origen sexual (ascosporas) en el interior de ascas (sacos o vainas).

Un término general utilizado para referirse a la "cantidad" de enfermedad es la intensidad, la cual puede expresarse como incidencia o como severidad, la primera de ellas se estima mediante la relación entre el número de plantas infectadas y el total de plantas, mientras que la segunda se refiere a la proporción de planta infectada. Por otra parte, la pérdida de cosecha es cualquier reducción mensurable de la productividad, por ejemplo en Kg/Ha.

Cuando se quiere obtener una medida de la enfermedad, hay que preguntarse si los síntomas que se quieren estimar, reflejan adecuadamente el efecto de la enfermedad, en este sentido hay autores que distinguen entre porcentaje de enfermedad y porcentaje de ataque [233, 206]. Porcentaje de enfermedad se refiere a la superficie de las lesiones, mas la superficie de clorosis directa, mientras que el porcentaje de ataque se refiere a las dos anteriores superficies, mas cualquier otra que presente síntomas atribuibles al patógeno. No siempre es sencillo hacer esta distinción, particularmente en campo. En los métodos basados en clasificadores automáticos de imágenes, hay que considerar esas diferentes clases en la fase de entrenamiento del clasificador, y agregar unas u otras, segun el tipo de estimación que se quiera realizar.

La severidad se representa en escalas de medida de razón (valores entre 0 y 1) y a su estudio se le podrán aplicar los métodos de análisis matemático para ese tipo de datos.

Clásicamente, la estimación de la severidad se ha hecho visualmente, bien directamente a partir del órgano afectado, o bien con el apoyo de referencias gráficas y escalas de medida. En estos sistemas, se proponen diferentes modelos de leyes psicofísicas, las cuales se refieren a la relación entre las magnitudes físicas y las sensaciones que producen, de manera que se pueda corregir la severidad estimada para ajustarla a la severidad actual. La Ley potencial de Stevens [203] que relaciona la sensación S con la magnitud física E , toma la siguiente forma:

$$S = kE^c$$

donde k es una constante y c depende del estímulo.

La experiencia y formación de los especialistas es fundamental para obtener buenos resultados y deben de conocer bien el patosistema al cual se refiere la medida [30].

Particularmente desde el uso generalizado de los ordenadores, hay disponibles métodos de estimación, a partir del tratamiento digital de imágenes, los cuales, dependiendo de sus características, pueden ser mas o menos lentos de llevar a cabo.



Figura 8.5. Imagen parcial de hoja de acelga con manchas.

Figura 8.6. Medida de la severidad sobre imagen de un fragmento de hoja de acelga clasificada automáticamente para discriminar partes sanas y enfermas. El dato se ha obtenido a partir de una clasificación no supervisada con un Kappa promedio de 0,9356, en la estimación de éste sólo se han incluido las propias áreas de entrenamiento con las que se ha realizado la clasificación (ver texto).

En las figuras 8.5, 8.6, 8.7 y 8.8, se presentan, a modo de ejemplo, dos casos de la utilización por el autor de este último tipo de métodos. En un caso se trata de una imagen fotográfica (rgb) tomada de una zona, que se procura que sea representativa, perteneciente a una hoja de acelga afectada por manchas, que se distribuyen de manera dispersa. El otro caso se refiere a una hoja de chopo, afectado por oídio, que presenta un patrón de distribución diferente al anterior, en este caso se hace la estimación sobre la totalidad de la hoja. Para la estimación de la severidad se ha realizado una clasificación bayesiana de máxima verosimilitud [151].

Se utiliza el histograma de la imagen clasificada para medir la superficie ocupada por cada clase y se obtiene el cociente entre la superficie ocupada por clases de tejido enfermo respecto de la ocupada por la totalidad de las clases.



Figura 8.7. Imagen de hoja de chopo afectada por oídio.

Figura 8.8. Estimación de la severidad a partir de imagen de hoja de chopo, previamente clasificada. El dato se ha obtenido a partir de una clasificación supervisada con un Kappa promedio de 0,9350, en la estimación de éste sólo se han incluido las propias áreas de entrenamiento con las que se ha realizado la clasificación (ver texto).

8.2. Modelos temporales de progreso de la enfermedad

Epidemia es el incremento de una enfermedad en una población. Epidemiología es el estudio de las epidemias y los factores que las influyen [4].

También se ha definido epidemia como la dinámica del cambio de la enfermedad en plantas, a lo largo del tiempo y el espacio. En este segundo caso, si llamamos E a alguna forma de cuantificación de la enfermedad, el fenómeno objeto de estudio en epidemiología toma la forma: $E = f(x, y, t)$. Consideramos, a continuación, el aspecto temporal, es decir el fenómeno en cuestión toma la forma $E = F(t)$.

Se han propuestos diversos modelos matemáticos que concretan la relación entre E (en términos de severidad, como se verá posteriormente) y f , a continuación se citan modelos básicos, conocidos como lineal, exponencial, monomolecular, logístico y de Gompertz Figs. 8.9 y 8.10 [217][231][184][149][95].

El modelo lineal es el mas simple, en él, la tasa de infección es constante a través de la epidemia. Si llamamos y a la severidad (entre 0 y 1), r a la tasa de la infección, y_0 a la cantidad inicial de inóculo y t el tiempo (en días), las expresiones que definen el modelo son las siguientes, en sus formas diferencial, integrada y linealizada:

$$\frac{dy}{dt} = r$$

$$y = y_0 + rt$$

$$y = y_0 + rt$$

El modelo exponencial, considera un crecimiento de tipo maltusiano, en el cual la tasa de la enfermedad se va incrementando a lo largo de la epidemia, y supone que la capacidad portadora del huésped no limita el crecimiento. Puede utilizarse para describir las primeras fases de la enfermedad cuando y es muy pequeño. Si r_e es la tasa de la infección, las expresiones del modelo son:

$$\frac{dy}{dt} = r_e y$$

$$y = y_0 \exp(r_e t)$$

$$\ln(y) = \ln(y_0) + r_e t$$

El modelo monomolecular se utilizó inicialmente para describir la evolución de reacciones químicas, las cuales se producen mas rápidamente al principio y disminuyen su velocidad conforme va quedando menos sustrato. Encuentra su mejor aplicación en enfermedades monocíclicas (un ciclo del patógeno por año) e incluso en las poliéticas (con un ciclo del patógeno en cada uno de los sucesivos ciclos de cultivo). Si llamamos r_m a la tasa de la infección, las expresiones son:

$$\frac{dy}{dt} = r_m (1 - y)$$

$$y = 1 - (1 - y_0) \exp(-r_m t)$$

$$\ln\left(\frac{1}{1-y}\right) = \ln\left(\frac{1}{1-y_0}\right) + r_m t$$

El modelo logístico es de aplicación a las enfermedades policíclicas (mas de una generación del patógeno por estación de crecimiento). Tiene una forma sigmoide, por otra parte común en la respuesta de muchos sistemas tanto naturales como artificiales. Presenta un punto de inflexión en $y = 0,5$, (50 %). La evolución de la tasa (r_l) es simétrica, alcanzando su máximo en el punto de inflexión. El modelo se representa por:

$$\frac{dy}{dt} = r_l y (1 - y)$$

$$y = \frac{1}{1 + \left[\frac{(1-y_0)}{y_0}\right] \exp(-r_l t)}$$

$$\ln\left(\frac{y}{1-y}\right) = \ln\left(\frac{y_0}{1-y_0}\right) + r_l t$$

El modelo de Gompertz se propuso inicialmente para describir el crecimiento animal. La forma también es una sigmoide, pero el punto de inflexión se encuentra en $y = \frac{1}{e}$, ($\sim 37\%$). La tasa alcanza un máximo rápidamente y luego empieza a disminuir. En este caso, para una tasa de r_g , la representación del modelo es:

$$\frac{dy}{dt} = r_g y (-\ln y)$$

$$y = \exp \{ [\ln(y_0)] \exp(-r_g t) \}$$

$$-\ln[-\ln(y)] = -\ln[-\ln(y_0)] + r_g t$$

El conocimiento de la dinámica de la enfermedad, tanto en el espacio como en el tiempo, es fundamental para establecer pautas efectivas de control. Una vez que se dispone de una serie de observaciones a lo largo del tiempo (y_i, t_i) , utilizando las expresiones linealizadas, se realiza el correspondiente proceso de ajuste mínimo cuadrático por regresión [151, 153], entre el conjunto de datos y los diferentes modelos a ensayar. Las incógnitas serán los valores de r (pendiente) y de y_0 (valor interceptado).

Las ecuaciones se plantean como $y'_i = y'_0 + r t_i$ calculando con el ajuste, en un primer paso, y'_0 y r .

los valores de y'_0 variarán para cada modelo, siendo.

$y_0 = \exp(y'_0)$ para el exponencial.

$y_0 = 1 - \frac{1}{\exp(y'_0)}$ para el monomolecular.

$y_0 = \frac{\exp(y'_0)}{1 + \exp(y'_0)}$ para el logístico.

$y_0 = \exp[-\exp(-y'_0)]$ para el de Gompertz.

Se elige el modelo que presente un menor error en el ajuste (menor raíz del error medio cuadrático o RMSE), siendo:

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{d_i^2}{n-1}}$$

en la cual n es el número de observaciones y d_i son las diferencias entre los valores medidos y los correspondientes del modelo (residuos).

En los tres últimos modelos (monomolecular, logístico y Gompertz), existe una asíntota horizontal en $y = 1$, sin embargo, en ciertos casos,

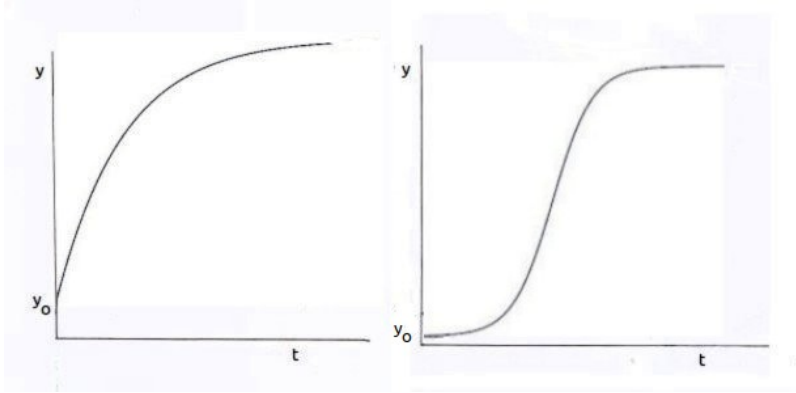


Figura 8.9. Modelo Monomolecular.

Figura 8.10. Modelo Logístico.

donde existen limitaciones para el desarrollo de la enfermedad (p. ej. debido a las condiciones ambientales), tal asíntota no se encuentra en la severidad teórica de 1, sino que se sitúa a un nivel inferior. El adecuado manejo de esta circunstancia, puede posibilitar un mejor ajuste entre los valores observados y los del modelo [127].

8.3. Modelos espaciales

8.3.1. Generalidades. Precisión

Como se dice anteriormente, la variable objeto del estudio que nos ocupa, toma la forma: $E = f(x, y, t)$. Sucede que, en un instante dado: $E = f(x, y)$ y la distribución de E serían modelos con dimensionalidad 2,5 (en un mismo punto sólo hay un valor de E, por tanto, no sería propiamente 3D).

Las mallas raster regulares (MRR)[151][152] se adaptan muy bien a la representación de superficies 2.5D, es decir, superficies que pueden describirse por una función matemática 3D de la forma indicada anteriormente. Las MRR describen una representación, muestreada regularmente, de dicha función f , la cual, implícitamente, asume una proyección en un sistema cartesiano de referencia. Las MRR tienen la geometría de una imagen en la cual, los pixels son los nodos de la malla

y los valores digitales de los pixels representan las elevaciones. Una de las principales ventajas es que pueden ser visualizadas como imágenes en niveles de gris o bien , en color con determinada paleta.

Uno de los problemas, con las MRR es que el muestreo espacial de la malla es regular y, por ello, algunas características de la distribución de la variable quedan correctamente descritas, mientras que otras, pueden no ser adecuadamente muestreadas y, por tanto, suavizadas o incluso quedan sin representación. Una de las limitaciones de ese modelo es la utilización de una misma densidad de muestras sobre un territorio que puede ser muy variable en el espacio. En realidad, la cuestión está en que los puntos de muestreo sean bien elegidos, de acuerdo con puntos significativos en lo que se refiere a la presencia de la enfermedad. Las MRR son una forma fácil pero no general para modelizaciones del tipo que nos ocupa.

La mayoría de los sistemas convencionales de adquisición de datos proporcionan medidas en puntos dispersos, con separación irregular. La idea de las redes triangulares irregulares (TIN – triangular irregular networks) es adaptar, completamente, el modelo a las muestras, describiendo la distribución del modelo mediante triángulos elementales en los cuales, los vértices, son las propias muestras. Los citados triángulos pueden formarse a partir de los componentes planimétricos de las muestras (x,y) mediante una triangulación 2D de Delone si la superficie es de tipo 2.5D.

Esta modelización triangular está muy extendida y se utiliza ampliamente en realidad virtual y en sistemas CAD. Los triángulos contruidos mediante un proceso de triangulación tienen la única finalidad de definir la vecindad en la cual puede calcularse el valo de Z (E en este caso) utilizando una función interpoladora entre los tres vértices del triángulo, ello para determinado punto (X,Y). Al contrario de las MRR, las muestras y el conjunto de triángulos pueden no estar ordenados y ello conduce a un mayor consumo de tiempo en operaciones de interpolación. Se puede almacenar un modelo TIN en un archivo formado por polígonos que son triángulos, es, por tanto un modelo vectorial.

La modelización de una superficie (en este caso de la enfermedad) mediante curvas de nivel puede considerarse como una compresión de datos de la superficie verdadera y la densidad de curvas (equidistancia) está relacionada con la compresión y con la pérdida de información.

En general, la elección de uno de los modelos citados y de sus parámetros, dependerá de las particularidades geométricas del objeto a modelizar, de los requerimientos de la aplicación que utilice el mode-

lo y tendrá cierto impacto sobre la precisión de la aproximación a la distribución real y sobre el espacio que ocupan los datos almacenados. En epidemiología se ha aplicado el modelo vectorial de TIN para el caso de distribuciones discontinuas en el espacio como enfermedades en explotaciones ganaderas. Mientras que en enfermedades de plantas, es común los modelos raster y ese será el tipo al que nos referiremos en los apartados que siguen.

La formación de un modelo puede describirse como un proceso de dos pasos, el primero consiste en obtener posiciones 3D para un gran número de puntos del terreno; el segundo paso consiste en remuestrear los datos resultantes para ajustarlos a una estructura de malla determinada y a un formato particular. Por tanto, la calidad de un modelo es el resultado de la forma en que se han llevado a cabo estos dos pasos. ¿En que consiste la calidad de un modelo?, básicamente en su capacidad para describir la superficie (distribución) real, pero los criterios de calidad no pueden establecerse sin tener en cuenta los requerimientos de los usuarios. La influencia de la calidad de los modelos sobre la validez de la información derivada se ha analizado por diversos autores y esto contribuye a clarificar el significado de tal calidad.

Como se indicó anteriormente, la calidad está afectada tanto por la precisión en la ubicación de los puntos como por las operaciones de remuestreo (interpolación en su caso). Existen dos tipos de metodología para validar los modelos, estas son validación interna y validación externa. La interna se refiere al propio análisis del modelo sin compararlo con datos de fuentes externas, así, por ejemplo, pueden realizarse operaciones como detección de artefactos visuales, detección de texturas no realistas, presencia de picos o “embudos” afilados, trazado realista de la distribución, etc. La validación externa consiste en comparar el modelo obtenido con un conjunto de datos de referencia y es la forma más común de evaluar la calidad de los modelos. Esta forma de evaluación se encuentra, a veces, con el inconveniente de la disponibilidad de datos y la fiabilidad de los mismos, ya que estos puntos de referencia, a veces, tienen su propio error que no suele ser conocido, en este último caso se debe de hablar de precisión relativa del modelo obtenido respecto de la referencia. Cuando se comparan ambos datos, se suelen utilizar parámetros estadísticos para mostrar las diferencias. Así suele obtenerse un modelo de diferencias del cual se calculan media, raíz del error medio cuadrático, desviación típica, máximo error, etc. Puede hacerse una representación gráfica del modelo de diferencias para analizar la distribución espacial de las mismas. Para evitar problemas en

lo que respecta a valores positivos y negativos de las diferencias entre datos, debe de utilizarse la raíz del error medio cuadrático ($RMSE$), si llamamos d_i al valor de la diferencia y comparamos n valores:

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{d_i^2}{n-1}}$$

Si m_d es la media, entonces la desviación típica es:

$$s = \sqrt{\frac{(d_i - m_d)^2}{n-1}}$$

Para una distribución normal, en el intervalo $(m_d - A.s, m_d + A.s)$, se encuentra un porcentaje de los puntos, que depende del parámetro A , si $A = 1$, se encuentra el 68.27 %, si $A = 2$, el 95.5 %, si $A = 3$, el 99.7 %. Como puede verse, cuando $m_d = 0$ entonces $RMSE = s$, lo que explica la aparente confusión que puede derivarse del hecho de que ambas expresiones se denominen, frecuentemente, como error estándar en el contexto de la precisión cartográfica.

8.3.2. Adquisición de datos. Muestreo

Respecto del fenómeno a estudiar, en este caso la distribución espacial de una enfermedad, ¿cuánta información tenemos que adquirir?. Una respuesta inicial puede ser, tanta como sea posible, incluso la adquisición de datos de la totalidad de los individuos que constituyen la población a estudiar. Esta forma de operar, sobre la totalidad de la población, es muy costosa en recursos y podría ser de aplicación, p. ej. en el caso de plantaciones leñosas, pero en cultivos herbáceos es prácticamente imposible de llevar a cabo esa forma de proceder ya que podemos tomar medidas en puntos tan próximos entre sí como queramos, es decir, el intervalo de muestreo puede ser todo lo pequeño que se quiera.

Una alternativa al método anterior, es recoger información en un subconjunto de observaciones del conjunto de la población. Tal subconjunto se conoce con el nombre de muestra. Una muestra es, por tanto, un subconjunto del total de entidades que constituyen la población y, se supone, que es representativa de la misma. El concepto de representatividad es muy importante y no se obtiene en igual medida con todos los métodos de muestreo. Una muestra debería reproducir, lo

más fielmente posible, los resultados estadísticos que serían obtenidos del total de la población si fuesen calculados en toda ella. El problema es que no sabemos qué observaciones reproducen, de forma precisa, las características de tal población parental.

La correspondencia entre muestras y la población de la que proceden, es un conjunto fundamental de técnicas analíticas, conocido como inferencia estadística.

Cuando se calcula un estadístico, a partir de la muestra, su equivalente en el conjunto de la población recibe el nombre de parámetro. Así, en las muestras hablamos de estadísticos y en la población de parámetros.

Otros problemas en la elección de muestras es qué método de muestreo utilizar y decidir cuantos elementos deben de incluirse en la muestra. La respuesta inmediata a la primera cuestión es elegir aquél método que proporciona unos resultados más representativos. Veremos en el siguiente apartado diferentes métodos de muestreo. Respecto de la siguiente cuestión, introduce el concepto de tasa de muestreo que se refiere al porcentaje de la población total que se incluye en la muestra. A veces, tal tasa no puede medirse bien sea porque el tamaño es infinitamente grande o porque nunca se ha medido.

La elección de la tasa de muestreo puede realizarse con una u otra de las siguientes consideraciones, elegir el máximo número de observaciones que el tiempo y presupuesto permitan o bien utilizar el mínimo necesario para producir resultados significativos. Cuando se planifica alguna forma de inferencia estadística, debe establecerse un método de muestreo que satisfaga los requerimientos y, consecuentemente, decidir una tasa, acorde con el método y la técnica, siempre teniendo presente las consideraciones anteriores respecto de representatividad.

En lo que respecta al muestreo, distinguiremos dos grupos de técnicas, probabilistas y no probabilistas. Las técnicas no probabilistas suelen aplicarse cuando no se dispone información respecto de la población parental o cuando el conocimiento es mínimo. En tal caso existen dos posibilidades, una de ellas es hacer un muestreo por conveniencia, basado en la accesibilidad o disponibilidad o, alternativamente, realizar un muestreo a juicio del especialista que decidirá qué observaciones incluirá. Existe una tercera posibilidad, que es combinar ambas, en un muestreo llamado de cuotas, en el cual se decide el número de puntos a incluir en la muestra e indentificar grupos discretos dentro de la población, tales grupos pueden contener igual o diferente número de observaciones en la muestra. En las técnicas probabilistas, el investigador

no controla qué observaciones incluir o no en la muestra, cada miembro de la población tiene igual probabilidad de pertenecer a la muestra. Con ello se elimina el posible sesgo introducido por el investigador y precisamente este es el gran valor de este tipo de métodos.

El método más usual de las técnicas probabilistas es el llamado aleatorio simple. Este tipo de muestreo es muy adecuado cuando se conoce el tamaño de la población puesto que el método depende de la posibilidad de establecer una tasa de muestreo procedente de un marco en el cual cada miembro de la población se identifica, asignándole un número de referencia. Las muestras se seleccionan al azar mediante una función de software que genera números aleatorios. En la selección de muestras espaciales, para cada observación elegida se generan un par de valores aleatorios en correspondencia con ambas coordenadas. Este método aleatorio simple tiene dos variantes, según sea con sustitución o sin sustitución, en el primer caso una observación elegida puede volver a ser seleccionada, en el segundo caso eso no sucede. Lo mas usual es utilizar la variante sin sustitución, dado que la población suele ser muy grande en relación con el tamaño de la muestra y la posible mayor probabilidad de ser elegido, conforme progresa el muestreo, puede ser considerada insignificante.

El muestreo aleatorio estratificado es uno de los más comunes y exige el agrupamiento de los miembros de la población en clases o estratos. En cada uno de los estratos se realiza un muestreo aleatorio simple. Los estratos deben de ser mutuamente exclusivos y exhaustivos. Existen dos variantes, cuotas proporcionales o no proporcionales, según el número de observaciones en cada estrato sea proporcional o no, al tamaño del mismo. La elección de una u otra variante depende de la variabilidad en el interior de cada clase, si es similar en todas ellas puede elegirse una tasa de muestreo similar en todas ellas, si tal circunstancia no se produce puede elegirse una tasa de muestreo mayor en aquéllas clases que presenten mayor variabilidad. Con frecuencia no se dispone de información sobre la variabilidad y se elige una tasa igual para todos los estratos. Otro método muy utilizado es el sistemático y , en él se seleccionan observaciones conforme a un patrón regular, P. Ej. una observación cada 10, o una cada cierta distancia o conforme a una cuadrícula p. ej. de 10x10 metros. Este tipo de recogida de información es fácil de aplicar y produce una cobertura uniforme sobre todo el conjunto de la población o superficie a muestrear.

8.3.3. Interpolación. Condiciones y métodos

En ciencias de La Tierra y en análisis relativos al territorio, suele plantearse con frecuencia el problema de reconstruir todos los valores de variables con distribución superficial, a partir de un conjunto limitado de observaciones disponibles. Con esta reconstrucción puede perseguirse el objetivo de conocer cómo se comporta la variable considerada en conjunto o bien obtener el valor de la misma en puntos diferentes de los de medida. Hay diferentes algoritmos que resuelven el problema, todos ellos se diferencian entre sí en la forma en que obtienen el valor de la variable en un punto cualquiera a partir de todos o algunos de los puntos de muestreo conocidos. Es decir, la diferencia fundamental en los algoritmos es el método de interpolación que se utiliza. En definitiva, se pretende obtener una función interpoladora que asigne un valor real a todos los puntos del espacio bidimensional, evidentemente dentro de un límite o ámbito territorial. Para que tal función tenga una naturaleza realmente interpolatoria, en los puntos de muestreo debe de recuperarse exactamente el valor medido. Los métodos de interpolación deben de cumplir una serie de condiciones para que sean válidos desde un punto de vista tecnológico y científico. Entre tales condiciones están las siguientes.

- Los métodos deben de ser generales.
- Complejidad razonable.
- La superficie construida debe de ser suave, preferiblemente de clase C1 (primeras derivadas continuas).
- Invariante respecto del sistema de referencia.
- Se supone la existencia y unicidad de la solución.
- El efecto de los parámetros libres sobre el comportamiento de la función interpoladora debe de ser bien conocido. Los métodos de interpolación pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios. A continuación se citan algunos de ellos.

Según el número de puntos considerados en la interpolación:

- Locales: al obtener la interpolación sólo se tiene en cuenta un subconjunto de los puntos de muestreo, usualmente los más próximos.
- Globales: se consideran todos los puntos de muestreo.

Según la distribución espacial de los puntos de muestreo:

- Métodos aplicados a mallas regulares.
- Métodos aplicados a mallas irregulares.

Según la naturaleza del método:

- Métodos geométricos. Basados en triangulación de Delone.

- Métodos algebraicos. Emplean funciones polinómicas o racionales definidas.
- Métodos estadísticos. Obtienen las funciones por medio de estadísticos.

Una vez que se ha realizado el muestreo, hay que preparar la muestra para la interpolación y formación del molelo. Con el fin de evitar errores, se hace necesario hacer filtrado de los puntos de la muestra, por ejemplo, se eliminarán puntos que estén demasiado próximos así como valores que salgan fuera del rango de la variable elegida (p.ej. la severidad, tomada esta entre 0 y 1).

Imaginemos que queremos hacer un modelo del tipo malla regular raster (MRR) y que los puntos de la muestra se encuentran en unos rangos mínimo y máximo de x y de y , es decir $\min_x$, $\max_x$, $\min_y$, $\max_y$. Supongamos que la MRR que queremos hacer, tiene esos mismos valores extremos, y elegimos una determinada resolución en metros $r = r_x = r_y$.

El número de columnas del raster será $ncol = (x_{max} - x_{min})/r$ mientras que el número de filas será $nfil = (y_{max} - y_{min})/r$. En el proceso de formación del modelo, a cada celda o pixel de la malla, hay que asignarle un valor que se obtendrá a partir de las observaciones de la muestra. Podría, inicialmente, pensarse en asignar a cada celda de la malla el valor que corresponda al punto mas próximo de la muestra, este método de interpolación, conocido como «vecino mas próximo» acaba formando en el modelo polígonos, incluyendo en cada polígono celdas que tienen todos sus valores iguales, el que corresponde al valor de la muestra más próximo. Esos polígonos se llaman «polígonos o celdas de Voronoi», En los límites de cada polígono aparecen discontinuidades, que no se corresponden con la forma en que se distribuye el fenómeno que se representa (la severidad de la enfermedad) como tampoco lo es la uniformidad en el interior de cada polígono, ya que, en la realidad, tal homogeneidad no se presenta. Se hace necesario, por tanto, recurrir a otros métodos de interpolación que proporcionen modelos continuos con superficies suaves.

Interpolación por ponderación inversa a la distancia

Pertenece este método al grupo conocido como métodos de Shepard[195] que tienen en común la formulación de funciones de ponderación para cada punto de muestreo que describen su influencia en el espacio como un campo que se atenúa con la distancia.

Para obtener el valor en un punto, se tienen en cuenta los 5 o 10 más próximos, teniendo en cuenta la distancia de los mismos para obtener la contribución de cada uno de ellos al valor que se desea calcular. Este método de interpolación es especialmente adecuado para el caso de fenómenos que se propagan en el espacio a partir de un punto, como pudiera ser la emisión de contaminantes a partir de fuentes puntuales.

La expresión que proporciona el valor estimado de Z es la siguiente:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i * Z_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

siendo: $W_i = \frac{1}{d_{i0}^p}$, n son los vecinos a considerar, d_{i0} es la distancia euclídea entre el punto de muestreo y el vecino i .

Como puede apreciarse, el peso de cada vecino se atenúa en función de la distancia según un exponente p que indica la rapidez con que decrece el peso de un nodo con la distancia. Es decir, cuanto mayor es p , menos influencia ejercen los puntos alejados y más, proporcionalmente, los cercanos. Un valor bajo del exponente limita el predominio de cada nodo a un corto radio de influencia, dando lugar a afilados embudos y agujas en las inmediaciones de los puntos de muestreo. Por el contrario, una sobrevaloración de p produce mesetas alrededor de cada nodo, en las que el fuerte peso que éste recibe gobierna por completo la interpolación. El exponente debe de ser mayor que 1 para que la contribución total disminuya con la distancia y, efectivamente, lo mas usual es utilizar el valor de 2, nmerosos investigadores lo han propuesto como el mas apropiado para gran variedad de casos, aunque no se puede afirmar, a priori, que vaya a ofrecer buenos resultados para un particular conjunto de datos. En cuanto a la elección de los puntos circundantes que intervienen en la ponderación, inicialmente puede parecer razonable usar todos los datos disponibles, convirtiendo así el método en uno de interpolación global. Sin embargo, el coste operacional puede ser muy alto con grandes conjuntos de datos, además, tal gasto de tiempo puede ser inútil cuando se maneja un exponente de atenuación lo suficientemente elevado para hacer insignificante la contribución de los puntos alejados y, si no es así, se producirá un irreal suavizamiento de la superficie de interpolación. El valor mas adecuado respecto del número de puntos vecinos a considerar depende estrechamente de las características del conjunto de datos y deberá ser fijado a partir de la experiencia (Fig. 8.12).

Triangulación de Delone

Se trata de una construcción geométrica íntimamente relacionada con el diagrama de Voronoi, del cual es una construcción dual. El nombre se debe a su autor Boris Nikolaevich Delone (1890 –1980).

Dado un conjunto de puntos y los correspondientes polígonos de Voronoi, la triangulación de Delone une con segmentos todos aquéllos puntos cuyos polígonos de Voronoi son adyacentes. En definitiva, los lados de los polígonos son las mediatrices de los triángulos. La triangulación de Delone puede definirse como la de mejor apariencia de todas las triangulaciones posibles, ya que reduce al mínimo posible la presencia de triángulos estrechos y alargados. La regla principal para su formación se basa en el criterio del círculo vacío, en una construcción de este tipo los triángulos no están solapados y el círculo que circunscribe a cada uno de ellos no contiene en su interior ningún punto de la red (Fig. 8.11).

En este caso, para obtener el valor interpolado, se utiliza el método de interpolación bilineal, que consiste en una interpolación polinomial de grado uno a trozos, de tal manera que el valor de la función dentro de cada triángulo de Delone se obtiene por simple interpolación lineal entre los valores medidos en los tres vértices. El valor interpolado para cualquier punto (x, y) del interior del triángulo viene dado por la expresión bilineal:

$$f(x, y) = c_1x + c_2y + c_3$$

donde los coeficientes c_1 , c_2 y c_3 se han obtenido como solución del sistema de ecuaciones:

$$f_i = c_1x_i + c_2y_i + c_3 \text{ para } i = 1, 2, 3$$

siendo f_i el valor conocido de la función en cada vértice del triángulo.

En una representación gráfica, la superficie interpoladora obtenida con el método bilineal presenta forma poliédrica, con un plano interpolador para cada triángulo de Delone. La continuidad en todo punto está garantizada, pero la función no es derivable en el perímetro de los triángulos y las derivadas segundas dentro de cada recinto son cero. Por lo tanto, este procedimiento no es aplicable cuando se exige un mayor grado de suavidad a la función de interpolación.

Obtención del semivariograma

Un semivariograma es una función o gráfica que permite realizar cierto análisis de la variación espacial de una variable de la que se

dispone de un cierto número de puntos muestreados. Nos muestra la influencia del valor en un punto sobre el valor de los puntos próximos. La variable del eje de las X posee las distancias desde cada uno de los puntos, medidas en las unidades en que estén las coordenadas X e Y (usualmente metros), los calculos se realizan para ciertos intervalos de distancia, la magnitud de tal intervalo o lag es fundamental en el análisis.

El valor que nos indica la “influencia” se denomina momento de inercia y es similar a la varianza, cuanto más pequeño sea el momento de inercia (γ) tanto mayor es la influencia del valor del punto en su vecindad. La expresión analítica del semivariograma o momento de inercia es:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_1^n (Z_{ti} - Z_{t+hi})^2$$

La representación gráfica del semivariograma es una curva que tiene un valor en el origen (pepita o nugget, C_0), que va creciendo conforme aumenta la distancia, a una distancia conocida como range o alcance (a), el valor de gamma adquiere un valor máximo, este valor máximo se conoce como sill o meseta ($C_0 + C_1$) (Fig. 8.15). A partir de cierta distancia el comportamiento de la gráfica se hace errático, con subidas y bajadas, indicando que a partir de tal valor el semivariograma no es significativo (Fig. 8.16).

Obtención del crosvariograma

Si en el caso anterior analizábamos la influencia del valor de una variable sobre el valor de la variable en los puntos vecinos, en el caso del crosvariograma se obtiene un análisis del valor de una variable sobre el valor de otra variable en su vecindad. Por lo demás todo es igual. La ecuación que permite obtener el crosvariograma es:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z_{ti} - Z_{t+hi}) (Y_{ti} - Y_{t+hi})$$

Por ejemplo puede hacerse un variograma para ver cómo varía la variable severidad en el espacio y puede hacerse un crosvariograma para ver cómo influye la variable altimetría (o la pluviometría) sobre los valores de la severidad. Al igual que en el caso anterior se obtiene un crosvariograma experimental, a partir del cual pueden estimarse los valores de pepita (nugget), sill (meseta) y range (alcance).

Interpolación por krigeado ordinario

Es un método desarrollado por Georges Matheron en su teoría de las variables regionalizadas [137] y aplicado después en prospección minera por D. G. Krige [117], como interpolador óptimo de la ley de un yacimiento. En esencia, es un método más de medias móviles (como el de Shepard, por ejemplo), pero en el que las funciones de ponderación se determinan globalmente, sujetas a ciertas condiciones de tipo estadístico, relacionadas con la covarianza espacial entre los puntos de control. El krigeado o kriging se asocia, a veces, a las siglas inglesas B.L.U.E. (best linear unbiased estimator) o mejor estimador lineal centrado, en las que quedan recogidos los principios del método: es lineal porque los valores estimados se obtienen por combinación lineal de los datos disponibles, es centrado porque se construye para que la esperanza del error sea cero y es el mejor porque minimiza la varianza de la estimación.

Este método se ha utilizado por diversos autores en el ámbito de la patología vegetal [122, 123, 183, 148, 230, 234, 8, 27, 18].

La estimación del valor interpolado en el método de krigeado, se realiza mediante la expresión:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$$

Obteniéndose W_i de:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ \dots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

o, de forma mas compacta: $[C] * \vec{W} = \vec{d}$

μ , recibe el nombre de multiplicador de Lagrange y fuerza a los W_i a sumar 1. C es la covarianza espacial entre pares de puntos vecinos, d es la covarianza espacial entre el punto a estimar y sus vecinos.

El valor de la covarianza, viene dado por la expresión:

$$C(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{ti} - \bar{Z}_t) (Z_{t+hi} - \bar{Z}_{t+h})$$

Como se indicó anteriormente, el momento de inercia es:

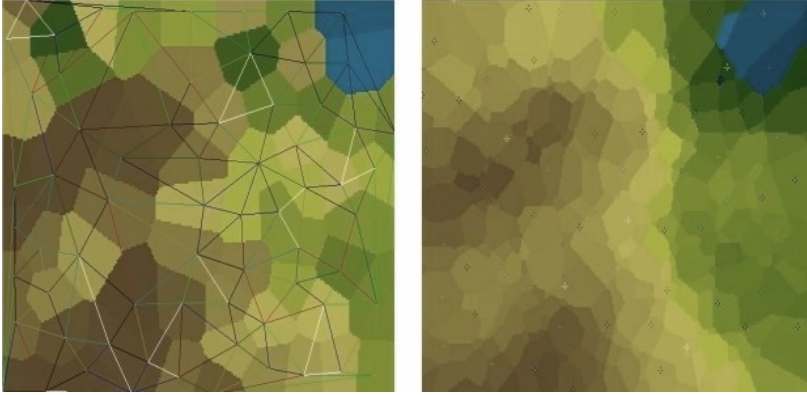


Figura 8.11. Celdas de Voronoi y triangulación de Delone, de una serie de observaciones [152].

Figura 8.12. Modelo digital raster obtenido por el método de ponderación inversa a la distancia (Shepard)[152].

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_1^n (Z_{ti} - Z_{t+hi})^2$$

siendo h el desplazamiento o lag.

Existen diferentes modelos para el cálculo de C , uno de ellos es el exponencial y es el siguiente:

$$C(h) = C_0 + C_1 \text{ si } h = 0;$$

$$C(h) = C_1 e^{\left(-\frac{3h}{a}\right)} \text{ si } h > 0;$$

$C_0 + C_1$: es la meseta o sill. C_0 : pepita o nugget. a : alcance o range.

Los valores de pepita, meseta y alcance se obtienen a partir del semivariograma (Figs. 8.17 y 8.18).

X(UTM)	Y(UTM)	Severidad (%)			
440152.156	4515666.500	21	Total coordenadas=67		
440171.594	4515085.000	45	Distancia media entre vecinos= 104.519		
440175.469	4515314.000	48	Maxima distancia= 1355.638		
440191.000	4515201.500	31	Numero de pares de distancias=12		
440218.188	4514747.500	55	Distancia (lag) Momento de inercia(gamma)		
440233.719	4515399.000	40	0	121.896	77.071
440260.906	4514968.500	42	1	213.486	107.744
440288.094	4514867.500	35	2	315.449	158.557
440299.750	4515178.000	25	3	421.702	182.991
440303.656	4515666.500	38	4	524.048	228.382
440307.531	4515046.000	43	5	627.222	270.536
440326.938	4515566.000	11	6	729.943	390.889
440350.250	4515302.000	24	7	834.353	424.366
440365.781	4514918.000	30	8	935.767	452.023
440381.344	4514809.500	40	9	1038.413	566.899
440392.969	4515442.000	17	10	1134.932	559.486
440408.531	4515186.000	20	11	1242.223	629.783
440435.719	4515666.500	18			
440459.000	4515015.000	22			

Figura 8.13. Fragmento del listado de muestras con coordenadas y valor de la severidad (en %)[152].

Figura 8.14. Ejemplo de semivariograma para una serie de muestras con la severidad [152].

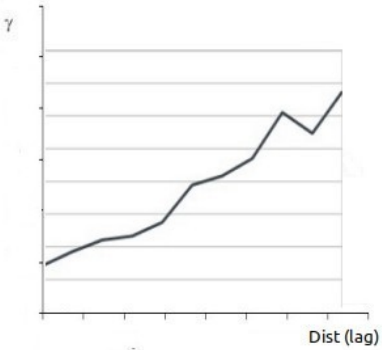
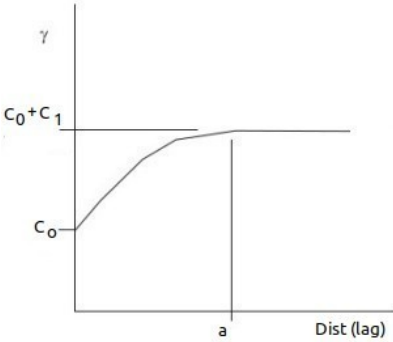


Figura 8.15. Semivariograma teórico.

Figura 8.16. Semivariograma experimental [152].

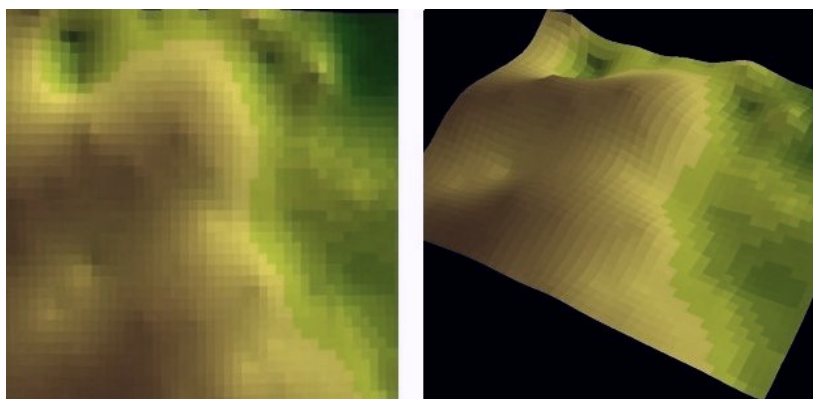


Figura 8.17. Modelo digital raster obtenido por krigeado, visualizado con una paleta de colores [152].

Figura 8.18. Visualización perspectiva del modelo raster por krigeado ordinario, con los valores de severidad (en Z) exagerados [152].

Capítulo 9

Espectroscopía y fotografía

9.1. Radiación electromagnética. Interacción con las hojas vegetales

Uno de los tipos mas importantes de interacción entre las partículas fundamentales que componen la materia, es la llamada interacción electromagnética. La misma está relacionada con una propiedad característica de cada partícula que se denomina carga eléctrica. Para describir la interacción electromagnética se introduce la noción de campo electromagnético, el cual se caracteriza por la existencia de dos componentes, el campo eléctrico y el campo magnético.

En 1864, Clerk Maxwell ideó un conjunto de cuatro ecuaciones, que describía casi todos los fenómenos referentes al magnetismo y la electricidad así como su carácter inseparable. Allá donde existiese un campo eléctrico, debería haber un campo magnético, y viceversa. De hecho habia sólo un "campo electromagnético". Al considerar la implicación de sus ecuaciones, Maxwell halló que un campo eléctrico cambiante tenía que incluir un campo magnético cambiante que a su vez, debía inducir un campo eléctrico cambiante, etc. y el campo avanzaba hacia afuera en todas las direcciones. El resultado es una radiación que posee las propiedades de una forma de onda. En resumen, Maxwell predijo la existencia de una radiación electromagnética con frecuencias iguales a aquéllas con las que el campo electromagnético crece y se desvanece.

Supongamos que tenemos una propiedad física descrita por un cierto campo. Supongamos, así mismo, que las condiciones en un lugar

lleguen a ser dependientes del tiempo o dinámicas, de modo que exista una perturbación del estado físico en el lugar considerado. Las propiedades físicas del sistema, descritas por las ecuaciones del campo, dependientes del tiempo, dan como resultado la propagación de esta perturbación a través del espacio. Esto ocasiona cambios en las condiciones físicas en otros lugares. Entonces decimos que hay una onda asociada al campo particular considerado. Hacia finales del S.XIX, el físico alemán Heinrich Hertz (1857-1894) probó, fuera de toda duda, que el campo electromagnético se propaga en el vacío con una velocidad igual a $c=3.108 \text{ m/s}$.

Max Planck (1858-1947) enunció la teoría cuántica de la radiación y consideró que todo cuerpo radiante está formado por un número enorme de osciladores, que vibran con todas las frecuencias posibles, pero que la energía de un oscilador cualquiera no puede tomar un valor arbitrario, sino que ha de ser múltiplo entero de la magnitud $h \cdot \nu$. Es decir la energía electromagnética, a nivel corpuscular, se emite por cuantos discretos, de forma que un fotón (cuanto) de frecuencia ν , presenta una energía: $E = h \cdot \nu$ Donde h es la constante de Planck ($6,624.10^{-34} \text{ J/s}$), siendo $\nu = c/\lambda$, expresándose λ (longitud de onda) en unidades lineales y ν en ciclos por segundo o Hertz. Ver Fig. 9.1.

La radiación electromagnética se presenta como una distribución continua de longitudes de onda y frecuencias, desde las longitudes de onda cortas y altas frecuencias de las ondas cósmicas, hasta las largas longitudes de onda y bajas frecuencias de las ondas de radio, esa distribución se conoce como espectro electromagnético (EE). Los diferentes intervalos del EE, según su longitud de onda, reciben denominaciones específicas, Fig. 9.2.

Las bandas del infrarrojo cubren la región espectral desde longitudes de onda del orden de 1 mm. hasta 0,7 micras. Esta región se divide en subregiones llamadas submilimétrica, IR lejano, IR medio e IR próximo. En estos intervalos se produce gran parte de la radiación electromagnética debida a las rotaciones y vibraciones moleculares, se utilizan, para su detección, espectrómetros, radiómetros, polarímetros y lasers. En la región vecina al infrarrojo, la del visible (0,4 - 0,7 micras), juega un papel determinante la energía de los niveles electrónicos, de manera que el salto de uno a otro nivel por parte de los electrones produce (o absorbe) este tipo de radiación.

Energía radiante (Q) es la energía transportada por una onda electromagnética, se mide en Julios. Se llama Flujo radiante ($\Phi=dQ/dt$) a la cantidad de energía radiada por unidad de tiempo, se mide en Vatios.

Si un objeto recibe un flujo de energía incidente Φ_i , éste resultará, en parte reflejada por el objeto Φ_r , parte absorbida Φ_a y , finalmente, otra parte será transmitida Φ_t .

Puede escribirse que $\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$, por tanto: $1 = \Phi_r/\Phi_i + \Phi_a/\Phi_i + \Phi_t/\Phi_i$ siendo: $1 = \rho + \alpha + \tau$, en la cual, los términos ρ , α y τ reciben los nombres respectivos de reflectividad, absorptancia y transmitancia. Para un cuerpo opaco o suficientemente grueso, la transmitancia será nula.

Cuando sobre ellas incide la radiación electromagnética, todas las hojas vegetales presentan una curva de reflectividad cuya forma es muy parecida, la citada curva presenta una forma característica en cada una de las tres regiones espectrales del visible, IR próximo e IR medio [197, 198, 37, 151], Figs. 9.3, 9.4.

En el intervalo del visible (0,4-0,7 micras) la reflectividad de la hoja es pequeña (menos del 15 %) y la transmitancia es también pequeña. La parte principal de la radiación incidente es absorbida por pigmentos tales como la clorofila, la xantofila, los carotenoides y las antocianinas. De ellos, los que mas absorben son las clorofilas a y b, que constituyen en torno al 65 % de los pigmentos de las hojas de las plantas superiores, y que presentan dos bandas de absorción centradas en la región del azul y del rojo, por ello, en esta región, aparece un máximo en las 0,55 micras, que explica el color verde de las hojas .

En el intervalo del IR próximo (0,7-1,3 micras) los pimientos foliares y la celulosa de las paredes celulares se muestran como transparentes, por ello, la absorptancia de la hoja es muy baja (menos del 10 %) y la radiación incidente es reflejada o transmitida. La reflectividad alcanza valores muy elevados (del orden del 50 %) obteniéndose en el infrarrojo lo que se muestra como una "meseta" en la curva espectral, en esta región, la reflectividad depende de la estructura anatómica de las hojas, aumentando con el número de capas celulares, con el tamaño de las celulas y dependiendo así mismo de la orientación de las paredes celulares y del contenido celular.

En el intervalo del IR medio (1,3-2,5 micras) las propiedades ópticas de la hoja se encuentran influidas, principalmente, por el contenido en agua, aparecen fuertes bandas de absorción de agua en 1,4; 1,9 y 2,5 micras, produciendo mínimos de reflectividad en estas longitudes de onda. Entre los mínimos citados pueden aparecer otros mínimos menos patentes, también debidos a la influencia del agua. El nivel de reflectividad de los máximos relativos en esta región también varia en función del contenido en agua.

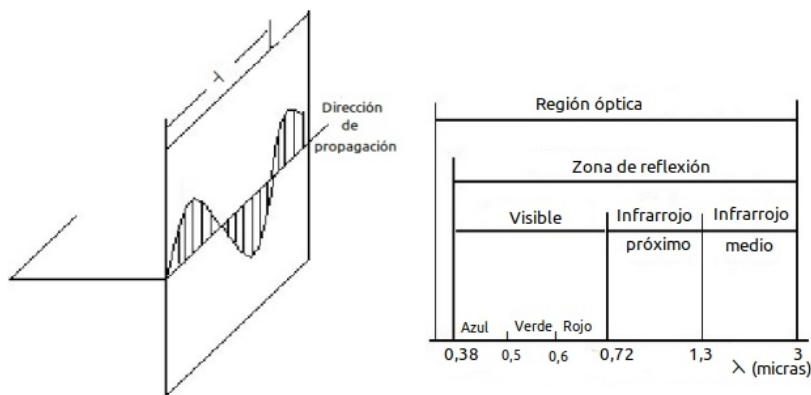


Figura 9.1. Longitud de onda.

Figura 9.2. Regiones del espectro electromagnético en función de la longitud de onda.

El instrumento que registra la radiación electromagnética procedente de un punto (P. ej. reflectividad) recibe el nombre de radiómetro, en la Fig. 9.5 puede verse un esquema de su funcionamiento.

9.2. Imágenes. Adquisición, clasificación e índices

Desde un punto de vista físico, una imagen es una distribución de energía electromagnética, independientemente del sensor que se utilice para su detección, que sólo tiene existencia como tal imagen en tanto que está iluminada por una fuente radiante. Si consideramos una fuente radiante cuya distribución espectral de energía está dada por $c(\lambda)$, sin considerar su distribución espacial, y la hacemos incidir sobre un objeto de reflectividad $r(\lambda)$, la energía devuelta sería: $c(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda$. En general, la reflectividad varía con la posición del punto en la escena que se considere, de manera que para cada punto (x, y) tendremos una intensidad luminosa f . Llegando así a un modelo matemático de imagen continua. Desde tal punto de vista matemático, una imagen monocroma fija es una función bidimensional de las coordenadas espaciales x e y , dada por $z = f(x, y)$ en que z representa la luminancia de la imagen en el punto

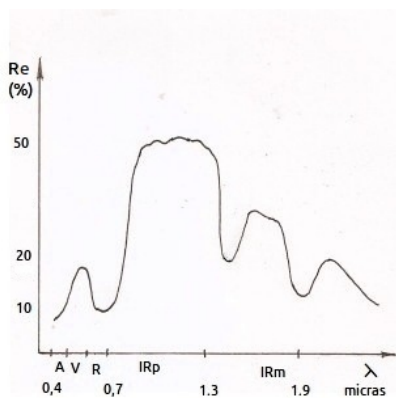
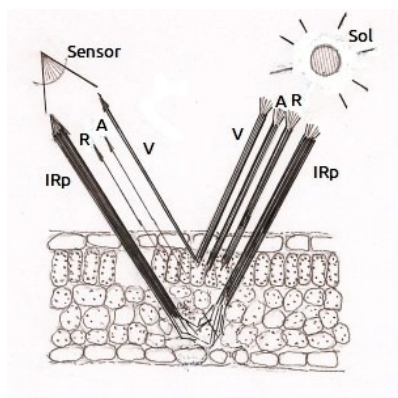


Figura 9.3. Estructura de una hoja y reflectividad. A: azul, V: verde, R: rojo, IRp: infrarrojo próximo.

Figura 9.4. Esquema del espectro de reflectividad de una hoja verde sana. A: azul, V: verde, R: rojo, IRp: infrarrojo próximo, IRm: infrarrojo medio, λ : longitud de onda, R: reflectividad.

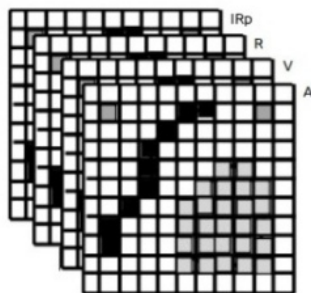


Figura 9.5. Esquema del funcionamiento de un radiómetro.

Figura 9.6. Esquema de imagen multibanda.

(x,y) , siendo, en principio z , x e y , números reales.

En una imagen digital, sucede que $l = f(m,n)$ con l,m,n valores enteros.

En una imagen monobanda (en principio monocroma), l es un escalar, sin embargo en el caso de imágenes multiespectrales l tiene carácter vectorial, siendo $\vec{l} (l_1, l_2, ..., l_n)$.

Un sistema formador de imágenes puede considerarse como una "caja negra" (con los dispositivos ópticos y/o electrónicos) que opera sobre una señal de entrada para producir una señal de salida. La señal de entrada (irradianza) a dicho sistema es la radiación procedente de la escena.

Actualmente hay dos tipos de sistemas para adquisición de imágenes, tanto en los ámbitos aéreo como terrestre, se trata de los escáners de línea y los de tipo matricial. Cada uno de estos sistemas se basa en el uso de unidades elementales de detección (CCDs). El primero de ellos utiliza una línea de tales detectores que se mueve longitudinalmente sobre el objeto de forma análoga a un escáner de sobremesa, también puede moverse de manera transversal a la dirección de avance de la plataforma. Los de tipo matricial se utilizan en cámaras digitales. Así mismo, cada uno de estos sistemas puede ser de tipo monobanda o multibanda, dependiendo de que, en la formación de la imagen, se registren uno o mas intervalos del espectro electromagnético (Fig. 9.6). El adjetivo espectral, aplicado a un sistema se refiere a su operación en un rango específico de longitudes de onda. Los sistemas formadores de imágenes hiperespectrales operan en un gran número de bandas espectrales. En el caso de cámaras espectrales, que trabajan en la región VNIR (visible e infrarrojo próximo, de 0,4 a 1 micras), los detectores elementales son CCDs, en ellos, un temporizador controla el escaneado vertical y horizontal, permitiendo la lectura de todos los elementos. En las cámaras de color (RGB), se sitúan CCDs en cada posición los cuales son sensibles, respectivamente, a los rangos espectrales del azul, del verde y del rojo. La lectura se hace de manera análoga al anterior.

En procesamiento de imágenes multibanda, para hacer una clasificación automatizada de los píxeles (elementos imagen) de manera que queden asignados a diferentes clases, pueden utilizarse diferentes métodos, como los algoritmos de clustering, el clasificador bayesiano o los que están basados en el uso de redes neuronales artificiales (ANN) [153]. Con anterioridad al uso de ordenadores para estas tareas, se hacían fotointerpretaciones por parte de especialistas, con el fin de distinguir las diferentes unidades de interés. Este método clásico es aún de uso

frecuente, combinando en su caso con los automatizados, así sucede cuando en la clasificación hay que considerar la forma (distribución espacial) de los objetos, lo cual, no es sencillo automatizar. Es el caso de las imágenes de microscopio, donde el especialista tienen que identificar las estructuras que está observando o que están registradas en la imagen.

Sin embargo, es relativamente sencillo segmentar imágenes, cuando lo que se utiliza es el valor digital del pixel, sea este de carácter escalar (una banda, nivel de gris) o varias bandas del espectro electromagnético, como sucede simplemente con una imagen fotográfica en color (bandas azul, verde y rojo).

En lo que respecta al clasificador bayesiano, hay dos posibilidades, una de ellas, disponer de una muestra de píxeles de cada una de las clases presentes (clasificación supervisada), y otra es disponer de una muestra con un conjunto de píxeles de los que se desconoce su clase inicial de pertenencia (clasificación no supervisada), en este segundo caso se puede aplicar algún algoritmo de clustering que forme clases con los píxeles de la muestra, en función de sus similitudes internas. Una vez disponemos de la referida muestra de píxeles distribuidos en clases, se pasa a la fase de asignación, en la cual, cada uno de los píxeles de la imagen se asigna a aquella clase de la muestra, a la cual tenga mayor probabilidad de pertenecer, según la teoría bayesiana de la decisión.

Dicha teoría se basa en el teorema de Bayes [23], el cual, para la aplicación que nos ocupa, de asignar el valor de un pixel (elemento de imagen) a una clase, se expresa de la siguiente forma:

$$P(W_j/x) = \frac{p(x/W_j) P(W_j)}{p(x)}$$

Siendo:

$P(W_j/x)$ la probabilidad de que la clase sea W_j , dado que el pixel tiene por valor x .

$p(x/W_j)$ la probabilidad de un pixel de valor x en la clase W_j , obtenida a partir de una muestra de dicha clase.

$p(x)$ la probabilidad de un pixel de valor x , a partir de todos los datos de la muestra.

El error de la clasificación puede ser estimado analíticamente a partir de los datos utilizados o bien (deseablemente) con muestras que no se han incluido inicialmente en la muestra para la clasificación. Las diferencias entre clase de pertenencia y clase de asignación se estructuran

en una «tabla de contingencia» o «matriz de confusión» que explicita el error entre cada dos clases. Es decir, la matriz tiene tantas filas y tantas columnas como clases. Cada elemento de la matriz contiene (en valor absoluto) el número de observaciones de la muestra que, perteneciendo a la clase que indica su fila, han sido asignados a la clase que indica su columna. En la diagonal principal se encuentran las observaciones correctamente asignadas y en el resto de las celdas de la matriz se encuentran los errores en el proceso de clasificación. La matriz de confusión, en sí misma, es un descriptor importante de la precisión de la clasificación, pero además, de ella se pueden derivar otras medidas de la misma, como es el coeficiente de aceptación Kappa [49], el coeficiente varía entre -1 y 1, el valor de -1 indica total desacuerdo, el 0 indica que la coincidencia no es mejor que la producida al azar y el 1 indica total acuerdo o coincidencia.

Sean: T_{ij} la matriz de confusión (en valores absolutos), $T_{i.}$ el sumatorio de la fila i , $T_{.j}$ el sumatorio de la columna j . y $T_{..}$ el sumatorio de todos los elementos de la matriz.

sean, así mismo: $p_{ij} = \frac{T_{ij}}{T_{..}}$, $p_{i.} = \frac{T_{i.}}{T_{..}}$, $p_{.j} = \frac{T_{.j}}{T_{..}}$ y $q_{ij} = p_{i.} \cdot p_{.j}$
entonces, el valor de Kappa (κ) se calcula como:

$$\kappa = \frac{\sum_1^n p_{ii} - \sum_1^n q_{ii}}{1 - \sum_1^n q_{ii}}$$

Conviene realizar diferentes ensayos, variando el número de áreas de entrenamiento y el número de clases. Finalmente se elige aquella solución que, por una parte se ajusta mejor a la apreciación del especialista y, por otra, minimiza la confusión entre clases, es una solución de compromiso.

Para conseguir buenos resultados es fundamental la calidad de la imagen utilizada, puede utilizarse una fotografía convencional separando sus componentes rojo, verde y azul, de manera que el análisis se realiza en un espacio tridimensional (Ver Figs. 9.7 y 9.8). Puede (y es deseable) utilizar imágenes multiespectrales que incluyan, el infrarrojo próximo e incluso el medio, con lo que se obtendrán mejores resultados [151].

Como ya se ha dicho, además del clasificador bayesiano, o directamente los de clustering, existen los basados en redes neuronales artificiales (ANN), también ampliamente utilizados en clasificación de imágenes multibanda. El modelo conocido como «backpropagation», se ha utilizado por el autor en muchos casos proporcionando, con frecuencia, resultados comparables a los obtenidos con el clasificador bayesiano.

Otro tipo de operaciones que suelen ser útiles para extraer información de las imágenes, son las transformaciones lineales de bandas y los índices derivados.

La transformación a Componentes Principales es una transformación lineal, de tal manera que a partir de la imagen multibanda inicial se obtiene una nueva multibanda, en la cual, las nuevas bandas están incorreladas entre sí, es decir, la información que hay en cada una de las nuevas bandas no se repite en las otras, lo cual no sucede en la imagen inicial. También sucede que la información se distribuye en las nuevas bandas de mayor a menor y sin sufrir pérdidas. De las nuevas bandas, la que mas información contiene es la primera (llamada primera componente principal), después la segunda y así sucesivamente. En la Fig. 9.9, puede verse un ejemplo de este tipo de transformación.

Entre los índices derivados, uno de los más útiles, para caracterizar la vegetación es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) [175]. Al igual que otros índices, se plantea a partir de los valores de reflectividad, pero, con frecuencia, y mas en imágenes terrestres, se utilizan los valores digitales (NDs) de las propias imágenes.

Para obtener el NDVI, se necesita disponer de una banda en el infrarrojo próximo y otra en el rojo, siendo $NDVI = \frac{IR_p - R}{IR_p + R}$. Se han propuesto diferentes índices, según las bandas espectrales disponibles [151], algunos de ellos pueden obtenerse a partir de las bandas del visible (Rojo, Verde, Azul), como ejemplo, se presentan el GRVI (Green-Red Vegetation Index [213]) y el VARI (Visible Atmospherically Resistant Index [82]), siendo $GRVI = \frac{V-R}{V+R}$ y $VARI = \frac{V-R}{V+R-A}$. Ver Fig. 9.10.

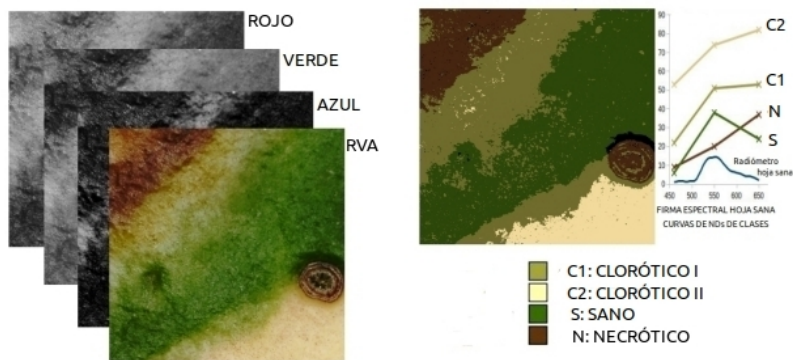


Figura 9.7. Imagen multibanda procedente de una fotografía color, aparecen las bandas (monocromas) del azul, verde y rojo, así como una combinación color de ellas.

Figura 9.8. Resultado de clasificación bayesiana de la imagen de la Fig. 9.7, aparece la distribución de cuatro tipos de tejido y sus curvas de valores digitales en un rango de 0 a 100. Se muestra también, en azul, la curva de reflectividad de un tejido sano, tomado con radiómetro, en este caso los valores están en %.

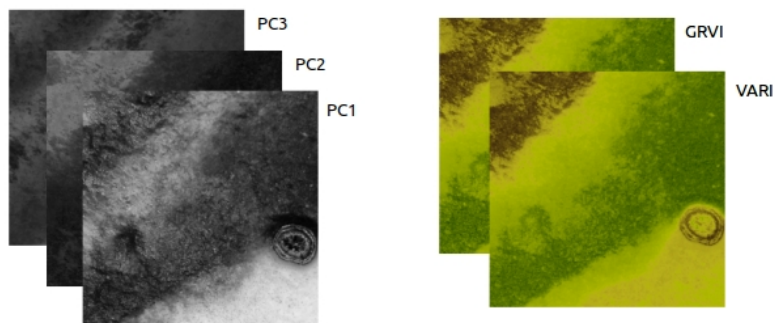


Figura 9.9. Componentes Principales de la imagen multibanda de la Fig. 9.7, la información de la imagen inicial se distribuye sobre estas nuevas bandas sin sufrir pérdidas. La que mas información contiene es la primera componente principal (PC1), después PC2 y por último PC3. Estas nuevas bandas están incorreladas entre sí (la información que hay en una, no la hay en otra).

Figura 9.10. Imágenes con el resultado de los índices GRVI y VARI procedentes de la imagen de la Fig. 9.7, ambos aparecen muy similares. En vez de visualizarse estos índices con una paleta de niveles de gris, se hace con una paleta que va del marrón al amarillo, pasando por el verde. Los tonos marrones indican tejido necrótico, los amarillos clorótico y los verdes tejido sano .

Bibliografía

- [1] J. Abdollahzadeh, J. Z. Groenewald, M. P. A. Coetzee, M. J. Wingfield, and P. W. Crous. Evolution of lifestyles in capnoidiales. *Studies in Mycology*, 2020.
- [2] J. Adaskaveg, D. Gubler, T. Michailides, and B. Holtz. *Efficacy and timing of fungicides, bactericides and bbiological for deciduous tree fruit, nut, strawberry and vine crops*. University of California, 2011.
- [3] B. Aglave. *Plant Disease Identification and Management*. Taylor and Francis Group, 1919.
- [4] G. N. Agrios. *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press, 2005.
- [5] C. Alabouvette, Ch. Olivain, and Ch. Steinberg. Biological control of plant diseases: the european situation. *European Journal of Plant Pathology* 114: 329-341, 2006.
- [6] C. J. Alexopoulos. *Introductory Mycology*. John Wiley and Sons, 2 edition, 1962.
- [7] A. Alfiky and L. Weisskopf. Deciphering trichoderma plant pathogen interactions for better development of biocontrol applications. *Journal of Fungi*, 2021.
- [8] M. Alves and E. Pozza. Indicator kriging modeling epidemiology of common bean anthracnose. *Applied Geomatics*, 2010.
- [9] O. E. Anco and M. A. Ellis. Phomopsis cane and leaf spot of grape. *Fact Sheet. Agriculture and Natural Resources, Ohio State University*.

-
- [10] M. F. Andres, S. Verdejo, et al. Enfermedades causadas por nematodos fitoparásitos en España. *M. V. Phytoma-España, S.L. Sociedad Española de Fitopatología*, 2011.
- [11] Anonymous. Plant disease development and control. *National Academy of Sciences, Washington, D. C.*, 1968.
- [12] Aps. Common names of plant diseases. *American Phytopathological Society*. <https://www.apsnet.org>, 2022.
- [13] P. A. Arneson. Epidemiología de las enfermedades de las plantas: Aspectos temporales. *The Plant Health Instructor*, 2001.
- [14] G. Ash. Downy mildew of grape. *The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society.*, 2000.
- [15] AWRI. Eutypa dieback. *Pests and Diseases. Australian Wine Research Institute*, 2010.
- [16] N. Baenas, C. Garcia-Viguera, and D. Moreno. Elicitation: A tool for enriching the bioactive composition of foods. *Molecules*, 2014.
- [17] A. Balaji. Plant disease identification and management. *CRC Press, Taylor and Francis Group*, 2019.
- [18] P. Balanagouda, S. Sridhara, S. Shil, V. Hegde, M. K. Naik, H. Narayanaswamy, and S. K. Balasundram. Assessment of the spatial distribution and risk associated with fruit rot disease in areca catechu l. *J Fungi (Basel)*, 2021.
- [19] SL. Baldauf and JD. Palmer. Animals and fungi are each other's closest relatives: Congruent evidence from multiple proteins. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1993.
- [20] J. F. Ballester-Olmos. *Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. HD 11/92*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1992.
- [21] R. Balodi, S. Bisht, and A. Ghatak. Plant disease diagnosis: Technological advancements and challenges. *Indian Phytopatology*, 2017.
- [22] R. Barnett and B. Hunter. Illustrated genera of imperfect fungi. *Macmillan Pub Co*, 1987.
-

- [23] T. Bayes. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1763.
- [24] J. Beckerman. Fungicide mobility for nursery, greenhouse, and landscape professionals. *Purdue University. Extension*, 2018.
- [25] J. Beckerman. Jolly hollyhock rust. *Landscape Report. Purdue University. Extension.*, 2020.
- [26] J. Beckerman and T. Creswell. Syptoms and signs for plant problems diagnosis. an illustrated glosary. *Purdue University. Extension*, 2021.
- [27] L. L. Belan, E. Pozza, M. Alves, and M. Freitas. Geostatistical analysis of bacterial blight in coffee tree seedlings in the nursery. *Summa Phytopathol*, 2017.
- [28] ML. Berbee. The phylogeny of plant and animal pathogens in the ascomycota. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, (59), 2001.
- [29] I. Berlanger and M. L. Powelson. Verticillium wilt. *The Plant Health Instructor*, 2000.
- [30] C. H. Bock, K. S. Chiang, and E. M. DelPonte. Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology*, 2022.
- [31] T. Boller and H. Shy. Effectors in microbial pathogens pattern recognition receptors in plants and innate immunity in plants: An arms race between. *Science*, 2009.
- [32] G. Bonanomi, C. Antignani, and F. Scala. Suppression of soil borne fungal diseases with organic amendments. *Plant Pathol*, 2007.
- [33] F. E. Brooks and D. M. Ferrin. Branch dieback of southern california chaparral vegetation caused by botryosphaeria dothidea. 1994.
- [34] J. Brown and H. Ogle. *Plant pathogens and plant diseases*. Rockvale publications, 1997.

-
- [35] R. Bugiani. Diseases of peaches and nectarines. *V Foro técnico en Sanidad Vegetal. Zaragoza*, 2019.
- [36] D. Bundhun, S. S. N. Maharachchikumbura, R. Jeewon, Senanayake. I. C., R. S. Jayawardena, S. Hongsanan, M. C. Samarakoon, M. C. Dayarathne, S. K. Huang, R. H. Perera, Y. Jing, and K. D. Hyde. <https://sordariomycetes.org/>, a platform for the identification, ranking and classification of taxa within sordariomycetes. *Asian Journal of Mycology*, 2020.
- [37] N. J. J. Bunnik. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. *PhD. thesis, Agricultural University Wageningen*, 1978.
- [38] H. Bücking. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. *Intech. Plant Science*, 2012.
- [39] P. Caetano, M.E. Sanchez, and A. Trapero. Efecto de la temperatura y el encharcamiento del suelo en la podredumbre radical de la encina causada por phytophthora cinnamomi. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [40] M. Cambra. Historias de la inmunología/serología en españa contadas por un fitopatólogo. *Fitopatología*, 2018.
- [41] M. Cambra, D. Boscia, M. Gil, and E. Bertolini. Immunology and immunological assays applied to the detection, diagnosis and control of fruit tree viruses. *Chapter 55 in book Virus and Virus-Like Diseases of Pome and Stone Fruits (pp.303-313)*, 2011.
- [42] M. Cambra, M. T. Gorris, and E. Terrada. Caracterización, diagnóstico y detección serológica de virus. *Caítulo en Patología Vegetal. G. Llácer, M. M. López, A. Trapero, A. Bello (Eds.). SEF, Phytoma- España, Valencia. 1165 pp.*, 1996.
- [43] P. F. Cannon. Systematics and diversity of the phyllachoraceae associated with rosaceae, with a monograph of polystigma. *Mycological Research*, 1996.
- [44] P. Castillo. Características y control de los ataques por nematodos noduladores (meloidogyne spp.) y lesionadores de las raíces
-

- (*pratilenchus* spp.) en cultivos hortícolas y frutales. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [45] G. Cemborain, A. Udíroz, and A. Eder. Estudio de los eri-siphales de navarra. *Publicaciones de biología. Universidad de Navarra*, 1997.
 - [46] A. D. Chapman. Numbers of living species in australia and the world. *Report for the Department of the Environment and Heritage. Canberra, Australia*, 2005.
 - [47] P. Chaverri and G. J. Samuels. Hypocrea/trichoderma (ascomy-cota, hypocreales, hypocreaceae): species with green ascospore. *Studies in Mycology*, 2003.
 - [48] P. Chomnunti, C. L. Schoch, B. AguirreHudson, T. WinKoKo, S. Hongsanan, E. B. GarethJones, R. Kodsueb, R. Phookamsak, E. Chukeatirote, A. H. Bahkali, and K. D. Hyde. Capnodiaceae. *Fungal Diversity*, 2011.
 - [49] J. Cohen. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educa-tional and psychological measurement*, 1960.
 - [50] R. Cook and KF. Baker. The nature and practice of biological control of plant pathogens,. *American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota*, 539., 1983.
 - [51] R. J. Cook. Plant health management: Pathogen suppressive soils. *Neal K. Van Alfen, Agriculture and Food Systems, Academic Press.*, 2014.
 - [52] J. Couceiro, J. Guerrero, M. Gijón, A. Moriana, D. Pérez, and M. Rodríguez. *El cultivo del pistacho*. Mundi Prensa, 2013.
 - [53] P. CrossaRaynaud. Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers a feuilles caduques. *Annals of Service Botanical Agronomy, Tunisie*.
 - [54] P. W. Crous. Genera of phytopathogenic fungi. *Gophy. Plantpat-hogen org. Westerdijk Fungal Biodiversity Institut. The Nether-lands*, 2023.
 - [55] C. J. D'Arcy. Dutch elm disease. *The Plant Health Instructor*, 2000.

-
- [56] M. Dayarathne, S. Maharachchikumbura, J. EBG, G. Id, T. Bulgakov, A. Al-Sadi, K. Hyde, and E. Mckenzie. *Neophyllachora* gen. nov. (phyllachorales), three new species of phyllachora from poaceae and resurrection of polystigmataceae (xylariales). *mycosphere*, 2017.
 - [57] R. Dean, J. VanKan, Z. Pretorius, K. Hammond-Kosack, A. DiPietro, P. Spanu, J. Rudd, M. Dickman, R. Kahmann, J. Ellis, and G. Foster. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 2012.
 - [58] NI. DeSilva, S. Lumyong, KD. Hyde, T. Bulgakov, AJL. Phillips, and JY. Yan. Mycosphere essays 9: Defining biotrophs and hemibiotrophs. *Mycosphere* 7 (5) 545 - 559, 2016.
 - [59] DiscoverLife. <http://www.discoverlife.org>. *Discover Life Org*, 2023.
 - [60] R. F. Dos Santos, M. B. Spósito, M. R. Ayres, and M. R. Sosnowski. Phylogeny, morphology and pathogenicity of *elsinoë ampelina*, the causal agent of grapevine anthracnose in brazil and australia. *Journal of Phytopathology*, 2017.
 - [61] M. Dowling, N. Peres, S. Villani, and G. Schnabel. Managing colletotrichum on fruits crops: A complex challenge. *Plant Disease*, 2020.
 - [62] A.H. Ekanayaka, K.D. Hyde, E. Gentekaki, E.H.C. McKenzie, Q. Zhao, T.S. Bulgakov, and E. Camporesi. Preliminary classification of leotiomycetes. *Mycosphere*, 2019.
 - [63] F. Elias and R. Castillo. Evapotranspiraciones potenciales y balance de agua en españa. *Ministerio de Agricultura. Madrid*. 293 pp., 1965.
 - [64] M. A. Ellis. *Eutypa dieback of grape*. *Ohio State University Extension*, 2016.
 - [65] B. Ephyra. Plant pathogen kits. *Ephyra biosciences Inc. Canada*, 2023.
 - [66] J. L. Espada. *Abonado de los frutales caducifolios*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.
-

- [67] R. Espejo. Buenas prácticas agrarias para la conservación del suelo y el agua. *Jornada Internacional de Agricultura de Conservación, Valladolid.*, 2016.
- [68] R. Espejo. La agricultura de conservación, herramienta para potenciar el papel del suelo como sumidero de co2 atmosférico y defender a los suelos agrícolas de la erosión. *Agricultura de Conservación, N. 33*, 2016.
- [69] R. Espejo and S. Ormeño. El suelo. consideraciones prácticas. *Taller de Plantas. Centro Municipal de Personas Mayores. Tres Cantos*, 2020.
- [70] D.F. Farr and A.Y. Rossman. Fungal databases, u.s. national fungus collections, ars, usda, 2022.
- [71] I. Fernandez. Papel de los jasmonatos y prosistemina en el establecimiento y desarrollo de una simbiosis micorrízica arbuscular. *Tesis Doctoral. Universidad de Granada*, 2013.
- [72] FRAC. Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action. *Fungicide Resistance Action Commitee. Code List*, 2022.
- [73] W. Fry and N. Grünwald. Introduction to oomycetes. *The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society.*, 2010.
- [74] P. Ganugi, A. Masoni, G. Pietramellara, and S. Benedettelli. A review of studies from the last twenty years on plant arbuscular mycorrhizal fungi associations and their uses for wheat crops. *Agronomy*, 2019.
- [75] J. L. García, T. Gallego, and L. Martínez. Horas frío y horas de calor en zonas climáticas de la españa peninsular (2002-2011). *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. genecia Estatal de Meteorología.*, 2015.
- [76] J. GarcíaJimenez. Colapso de plantas hortícolas de etiología compleja. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [77] A. K. Gautam. Colletotrichum gloeosporioides: Biology, pathogenicity and management in india. *Journal of Plant Physiology & Pathology*, 2014.

-
- [78] N. Gauthier. Apple scab. *The Plant Health Instructor*, 2018.
- [79] J. A. Gil. Agricultura de conservación: su papel en el desarrollo rural, la eficiencia energética y el cambio climático. *III Jornadas Iberoamericanas de Agricultura de Conservación.*, 2007.
- [80] J. A. Gil. Agricultura de conservación y su contribución a los retos agroambientales en el marco de la estrategia europea 2020. *Jornada Internacional de Agricultura de Conservación, Valladolid.*, 2016.
- [81] F. GilAlbert. *Tratado de arboricultura frutal*. Ediciones Mundi Prensa, 1989.
- [82] A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, and M. N. Merzlyak. Use of green channel in remote sensing of global vegetation from eos-modis. *Remote Sens. Environ.*, 1996.
- [83] A. González. Introducción al cultivo del tomate en invernadero. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía.*, 2013.
- [84] A. J. González, M. Ordax, and M. C. Mendoza. Evaluación de los iniciadores del método bio-pcr sobre aislamientos fitopatógenos de pseudomonas aisladas de judía común. *Bol. San. Veg. Plagas*, 28: 51-58, 2002.
- [85] K. Goulter and J. Randles. Serological and molecular techniques to detect and identify plant pathogens. *Plant Pathogens and Plant Diseases*. Australasian Plant Pathology Society, 1997.
- [86] J. H Graham and S. L. Strauss. Biological control of soilborne plant pathogens and nematodes. *Elsevier*, 2021.
- [87] D. Gramaje, J. Armengol, E. Barajas, M. Berbegal, J. L. Chacon, J. F. Cibriain, E. Diaz, B. Lopez, R. M. Moñoz, M. P. Martinez, J. A. Rubio, and A. Sagües. Guía sobre las enfermedades fúngicas de la madera de la vid. *Grupo de Trabajo de Experimentación en Viticultura y Enología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 2020.
- [88] JL. Green, O. Maloy, and J. Capizzi. Diagnosing plant problems. *Kentucky Master Gardener Manual*, 2011.
-

- [89] A. Gros. *Abonos. Guia práctica de la fertilización*. Ediciones Mundiprensa, 1976.
- [90] B. K. Gugino, O. J. Idowu, R. R. Schindelbeck, H. M. vanEs, D. W. Wolfe, B. N. MoebiusClune, J. E. Thies, and G. S. Abawi. Cornell soil health assessment training manual. second edition. *Cornell University*, 2009.
- [91] G. Gusella, D. Aiello, T. J. Michailides, and G. Polizzi. Update of pistachio leaf spot caused by septoria pistaciarum in light of new taxonomic advances in italy. *Fungal Biology*, 2021.
- [92] A. Habibi and Z. Banihashemi. Mating system and role of pyrenidiospores in biology of polystigma amygdalinum, the causal agent of almond red leaf blotch. *Phytopathologia Mediterranea*, 2016.
- [93] A. Habibi, Z. Banihashemi, and R. Mostowfizadeh-Ghalamfarsa. Phylogenetic analysis of polystigma and its relationship to phyllachorales. *Phytopathologia Mediterranea*, 2015.
- [94] H. Hasan. Biology and integrated control of tomato wilt caused by fusarium oxysporum lycopersici: A comprehensive review under the light of recent advancements. *Journal of Botany Research*, 2020.
- [95] B. Hau and E. Kosman. Comparative analysis of flexible two-parameter models of plant disease epidemics. *Analytical and Theoretical Plant Pathology*, 2007.
- [96] D. L. Hawksworth. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*, 105, 2001.
- [97] L. Heffer, M. L. Powelson, and K. B. Johnson. Oomycetes. *The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society*, 2002.
- [98] V. HefferLink and K. B. Johnson. White mold. *The Plant Health Instructor*, 2012.
- [99] H.A. Hogenhout, K. Oshima, E.D. Ammar, S. Kakizawa, H.N. Kingdom, and S. Namba. Phytoplasmas, bacteria that manipulate plants and insects. *Molecular Plant Pathology*, 9(4), 2008.

-
- [100] S. Hongsanan, K. D. Hyde, R. Phookamsak, D. N. Wanasinghe, E.H.C. McKenzie, V. V. Sarma, S. Boonmee, R. Lücking, D. J. Bhat, E. B. G. Liu, et al. Refined families of pleosporomycetidae dothideomycetes: Dothideomycetidae and pleosporomycetidae. *Mycosphere*, 2020.
- [101] S. Hongsanan, S. Maharachchikumbura, K.D. Hyde, and M.C. Samarakoon. An updated phylogeny of sordariomycetes based on phylogenetic and molecular clock evidence. *Fungal diversity*, 2017.
- [102] P. P. Jambhulkar, M. Sharma, D. Lakshman, and P. Sharma. Natural mechanisms of soil suppressiveness against diseases caused by fusarium, rhizoctonia, pythium, and phytophthora. *Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management, Soil Biology.*, 2015.
- [103] Sauban Musa Jibril, Bello Hassan Jakada, Ahmad Shehu Kutama, and Harisu Yunusa Umar. Plant and pathogens: Pathogen recognition, invasion and plant defense mechanism. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5(6).
- [104] R.M. JimenezDiaz. Fusariosis vasculares y verticilosis. situación actual y perspectivas para su control. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [105] J. J. Jiménez, M. E. Sánchez, and A. Trapero. El chancro carbonoso de la encina y el alcornoque. *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía*, 2010.
- [106] R. M. JiménezDiaz, E. Montesinos, et al. Enfermedades de las plantas causadas por hongos y oomicetos. *M. V. Phytoma-España, S.L. Sociedad Española de Fitopatología*, 2010.
- [107] P. R. Johnston, L. Quijada, C. A. Smith, H. O. Baral, T. Hosoya, C. Baschien, K. Partel, W. Y. Zhuang, D. Haelewaters, D. Park, S. Carl, et al. A multigene phylogeny toward a new phylogenetic classification of leotiomycetes. *I. M. A. Fungus*, 2019.
- [108] J. D. Jones and J. L. Dangl. The plant immune system. *Nature*, 2006.
- [109] S. Kamoun, O. Furzer, et al. The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology. *Molecular plant Pathology*, 1914.
-

- [110] D. L. Karlen, M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal.*, 1997.
- [111] G. Kemmit. Early blight of potato and tomato. *The Plant Health Instructor*, 2002.
- [112] B.W. Kennedy and S.M. Alcorn. Estimates of u.s. crop losses to prokaryote plant pathogens. *Plant Dis.*, 64: 674-676., 1980.
- [113] M. Kennelly, J. O'Mara, G. Rivard, G. Miller, and D. Smith. Introduction to abiotic disorders in plants. *The Plant Health Instructor*, 2012.
- [114] R. M. Kerruish and P. W. Unger. *Plant Protection 4: How to Diagnose Plant Problems, Volumen 4 Plant protection*, Ruth M. Kerruish. RootRot Press, 2006.
- [115] P. M. Kirk, P. F. Cannon, J. C. David, and J. A. Stalpers. *Dictionary of the Fungi.*, Wallingford, UK: CABI Publishing., 9 th edition, 2001.
- [116] M. A. Klich. *Aspergillus flavus: the major producer of aflatoxin. Molecular Plant Pathology*, 2007.
- [117] D. G. Krige. Two dimensional weighted moving average trend surfaces for pre-evaluation. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 1966.
- [118] C. Lado and C. Rojas. Guía para el estudio de la taxonomía y ecología de myxomycetes. *X Congreso Internacional sobre Sistemática y Ecología de Myxomycetes (ICSEM 10)*, 2020.
- [119] I. Lalaymia, F. Naveau, A. Arguelles, M. Ongena, T. Picaud, S. Declerck, and M. CalonneSalmon. Screening and efficacy evaluation of antagonistic fungi against phytophthora infestans and combination with arbuscular mycorrhizal fungi for biocontrol of late blight in potato. *Frontiers in Agronomy*, 2022.
- [120] K. Laluk and T. Mangiste. Necrotroph attacks on plants: Wanton destruction or covert extortion? *The Arabidopsis Book*, 2010.
- [121] C. Y. Lay, C. Hamel, and M. StArnaud. Taxonomy and pathogenicity of olpidium brassicae and its allied species. *Fungal Biology*, 2018.

-
- [122] R. Lecoustre and P. deReffye. La théorie des variables régionalisées, ses applications possibles dans le domaine épidémiologique aux recherches agronomiques en particulier sur le palmier à huile et le cocotier. *Société d'éditions techniques continentales, Paris*, 1986.
- [123] R. Lecoustre, D. Fargette, C. Fauquet, and P. deReffye. Analysis and mapping of the spatial spread of african cassava mosaic virus using geostatistics and the kriging technique. *Environmental Science. Phytopathology*, 1989.
- [124] Z. Li, R. F. Dos Santos, L. Gao, P. Chang, and X. Wang. Current status and future prospects of grapevine anthracnose caused by *elsinoe ampelina*: An important disease in humid grape-growing regions. *Molecular Plant Pathology*, 2021.
- [125] C. Liñán. *EcoVad. Productos e insumos para agricultura ecológica*. Ediciones agrotécnicas S. L., 2014.
- [126] X. Llimona. *Hongos: ameboides, lisotróficos, pseudohongos, primitivos, Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes.*, volume Botanica. McGraw Hill, 2004.
- [127] J. M. Lopez and J. Castaño. Assessment of the level of adjustment of three epidemiological models in the analysis of epidemics with incidences less than 100 % such as the lethal wilt of oil palm (*elaeis guineensis* jacq.). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 2022.
- [128] M. M. Lopez, P. Llop, A. Olmos, E. MarcoNoales, M. Cambra, and E. Bertolini. Are molecular tools solving the challenges posed by detection of plant pathogenic bacteria and viruses? *Curr. Issues Mol. Biol.*, 2009.
- [129] A. LopezMoral, M. C. RayaOrtega, C. AgustíBrisach, and L. F. Roca. Morphological, pathogenic, and molecular characterization of colletotrichum acutatum isolates causing almond anthracnose in spain. *Plant Disease*, 2017.
- [130] J. Lostau. Clave determinativa de las especies de género penicillium. *Universidad de Murcia*, 1945.
- [131] M. Mahmood, M. Ahmad, and I. Ali. Chickpea blight: former efforts on pathogenicity, resistant germplasm and disease management. *Gomal University Journal of Research*, 2019.
-

- [132] J. Mansfield, S. Genin, S. Magori, V. Citovsky, M. Sriariyanum, N. Dow, V. Verdier, S. Beer, M. Machado, I. Toth, G. Salmond, and G. Foster. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 2012.
- [133] Mapa. Fichas de diagnóstico en laboratorio de organismos nocivos de los vegetales. ministerio de agricultura, pesca y alimentación de españa. 1985.
- [134] Mapa. Guías de gestión integrada de plagas. ministerio de agricultura, pesca y alimentación de españa. 2012.
- [135] Mapa. Registro de productos fitosanitarios. medios de defensa fitosanitaria. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*, 2020.
- [136] Mapa. Registro de productos fitosanitarios. medios de defensa fitosanitaria. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*, 2022.
- [137] G. Matheron. *Les Variables Regionalisees Et Leur Estimation: Une Application de la Theorie Des Fonctions Aleatoires Aux Sciences de la Nature*. 1965.
- [138] J. M. Maya and B. Elvira. Claves para la identificación de esporas aerovagantes. meiosporas y mitosporas. *XV Congreso Español y V Congreso Iberoamericano de Salud Ambiental- II Jornada de la Asociación Española de Aerobiología. Universitat de Valencia*, 2019.
- [139] P. Mazumdar. Sclerotinia stem rot in tomato: a review on biology, pathogenicity, disease management and future research priorities. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2021.
- [140] P. Melgarejo, J. García-Jiménez, MC. Jordá, MM. López, MF. Andrés, and N. Duran-Vila. *Patógenos de plantas descritos en España*. 2010.
- [141] MinisterioDeAgricultura. Síntomas de carencia en los frutales. *Publicaciones de capacitación agraria. Ministerio de Agricultura*, 1967.
- [142] MinisterioPresidencia. Real decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir

- un uso sostenible de los productos fitosanitarios. *Boletín Oficial del Estado*, 2012.
- [143] J. P. Misra, G. M. Rao, A. Kumar, A. Yadav, S. Yadav, R. Yadav, R. Kumar, and Dr. S. Srivastava. Molecular assisted breeding for ascochyta blight resistance in chickpea (*cicer arietinum* l.). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 2016.
- [144] N. A. Mitkowski and G. S. Abawi. Root knot nematode. *American Phytopathological Society*. <https://www.apsnet.org>, 2003.
- [145] J. Moral, C. MuñozDiez, D. Cabello, O. Arquero, M. Lovera, J. Benitez, and A. Trapero. Characterization of monilia disease caused by monilinia linhartiana on quince in southern Spain. *British Society for Plant Pathology*, 2011.
- [146] G. K. Mugambi and S. M. Huhndorf. Molecular phylogenetics of pleosporales: Melanommataceae and lophiostomataceae re-circumscribed (pleosporomycetidae, dothideomycetes, ascomycota). *Studies in Mycology*, 2009.
- [147] G. Muñoz-Organero, F. Cabello, C. Gallego, L. Gaforio, and S. García-Muñoz. Sensibilidad al oidio de variedades de vid tradicionales en la comunidad de Madrid. Technical report, 2006.
- [148] M. R. Nelson, R. FelixGastelum, T. V. Orum, L. J. Stowell, and D. E. Myers. Geographic information systems and geostatistics in the design and validation of regional plant virus management programs. *Phytopathology. The American Phytopathological Society*, 1994.
- [149] F. W. Nutter Jr. The role of plant disease epidemiology in developing successful integrated disease management programs. *Chapter. Iowa State University*, 2007.
- [150] K. Ojito-Ramos and O. Portal. Introducción al sistema inmune en plantas. *Biotecnología Vegetal*, 2010.
- [151] S. Ormeño. *Teledetección Fundamental*. Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 978-84-86451-07-3, 1995.
- [152] S. Ormeño. *Cartografía Temática. Modelización, clasificaciones y aplicaciones ambientales. Apuntes de la asignatura*. Escuela
-

- Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía. Univ. Politécnica de Madrid, 2004.
- [153] S. Ormeño. *Teledetección Fundamental*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía. Univ. Politécnica. Madrid, 2006.
- [154] D. Palmieri, G. Ianiri, C. DelGrosso, G. Barone, F. DeCurtis, R. Castoria, and G. Lima. Advances and perspectives in the use of biocontrol agents against fungal plant diseases. *Horticulturae*, 2022.
- [155] ParlamentoConsejo. Directiva 2009/128/ce del parlamento europeo y el consejo, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2009.
- [156] J. K. Pataky and K. M. Snetselaar. Common smut of corn (syn. boil smut, blister smut). *American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota*, 539., 2006.
- [157] E. A. Paul. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Elsevier, 2015.
- [158] D. Pem, S. Hongsanan, M. Doilom, S. Tibpromma, D. N. Wanasinghe, W. Dong, N. G. Liu, R. Phookamsak, A. J. L. Phillips, R. Jeewon, and K. D. Hyde. <https://www.dothideomycetes.org>: An online taxonomic resource for the classification, identification, and nomenclature of dothideomycetes. *Asian Journal of Mycology*, 1919.
- [159] M. J. Pozo and C. AzconAguilar. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr Opin Plant Biol.*, 2007.
- [160] M. J. Pozo, C. Cordier, E. DumasGaudot, S. Gianinazzi, J. M. Barea, and C. AzconAguilar. Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to phytophthora infection in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 2002.
- [161] R. Raabe. Home gardening. conference "plant diseases". UCTV. University of California., 2002.

-
- [162] M. L. Raimondo, F. Lops, and A. Carlucci. Charcoal canker of pear, plum, and quince trees caused by *biscogniauxia rosacearum* sp. nov. in southern Italy. *The American Phytopathological Society*, 2016.
- [163] S. Rakesh and R. S. Rathore. Visual nutrient deficiency symptoms in plants. *Agrospheres*, 2021.
- [164] C. Ramos and F. Pomares. *Abonado de los cultivos hortícolas*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.
- [165] L. I. Rangel, R. E. Spanner, M. K. Ebert, S. J. Pethybridge, E. H. Stukenbrock, R. DeJonge, G. A. Secor, and M. D. Bolton. *Cercospora beticola*: The intoxicating lifestyle of the leaf spot pathogen of sugar beet. *Molecular Plant Pathology*, 2020.
- [166] W. Rieckmann and U. Steck. Krankheiten und schädlinge der zuckerrübe. *Gelsenkirchen, Verlag Th. Mann*, 1995.
- [167] D. Rigling. *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology*, 2017.
- [168] MB. Riley, MR. Williamson, and O. Maloy. Plant disease diagnosis. *The Plant Health Instructor*, 2002.
- [169] D. F. Ritchie. Brown rot of stone fruits. *The Plant Health Instructor*, 2005.
- [170] C. Robin and T. Allery. Chancre du châtaignier. *Ephytia. INRAE*, 2022.
- [171] J. Rollins, C. Cuomo, M. Dickman, and L. Kohn. Genomics of *sclerotinia sclerotiorum*. *Genomics of Plant-Associated Fungi and Oomycetes: Dicot Pathogens*, 2014.
- [172] A. F. Ross. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants. *Virology*, 1961.
- [173] A. Y. Rossman, F. Farr, D., L. A. Castlebury, et al. A review of the phylogeny and biology of the diaportheales. *Mycoscience*, 2007.
-

- [174] AY. Rossman and ME. Palm-Hernández. Systematics of plant pathogenic fungi: why it matters. *The American Phytopathological Society*, 2008.
- [175] J. V. Rouse, R. H. Haas, J. A. Shell, and D. W. Deering. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts-1. *NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp.*, 1974.
- [176] D. Rubiales and M. FernandezAparicio. Innovations in parasitic weeds management in legume crops. a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2012.
- [177] M. G. Ryan and B. E. Law. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry. Springer.*, 2005.
- [178] P. A. Saccardo. Sylloge fungorum omnium hucusque cognitorum. vol iv. hiphomycetes. *Typis Seminarii*, 1896.
- [179] C. Saenz and M. Gutierrez. Esporas atmosféricas en la comunidad de madrid. *Consejería de Sanidad, D.G. de Salud Pública. Madrid*, 2003.
- [180] M. A. Samson. Studies in mycology. *Westerdijk Fungalbio Diversity Institute*, 1922.
- [181] S. SanchezMarquez, G.F. Bills, and I. Zabalgoceazcoa. Microbiota endofítica asociada a dactylis gomerata. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [182] R. Saunier. La lutte contre les gelées printanieres chez les arbres fruitiers. *Pomologie francaise*, 2, 5-12., 1960.
- [183] S. Savary. Aproches de la pathologie des cultures tropicales. l'exemple de l'arachide en africa de l'ouest. *Klartaha Orstom*, 1991.
- [184] S. Savary. Epidemics of plant diseases: Mechanisms, dynamics and management. *Chapter. Encyclopedia of Infectious Diseases: Modern Methodologies*, by M. Tibayrenc. John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [185] D. Schlatter, L. Kinkel, L. Thomashow, D. Weller, and T. Paulitz. Disease suppressive soils: New insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 2017.

-
- [186] H. G. Schlegel. *Microbiologia General*. Omega, 1997.
- [187] C. L. Schoch, R. Shoemaker, K. Seifert, S. Hambleton, J. W. Spatafora, and P. W. Crous. A multigene phylogeny of the dothideomycetes using four nuclear loci. *Mycologia*, 2006.
- [188] C.L. Schoch et al. *NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools*. 2020.
- [189] C.L. Schoch, J.W. Spatafora, H.T. Lumbsch, S.M. Huhndorf, K.D. Hyde, J.Z. Groenewald, and P.W. Crous. A phylogenetic re-evaluation of dothideomycetes. *Studies in Mycology. CBS.KNAW Fungal Biodiversity Centre*, 2009.
- [190] K. Scholthof, S. Adkins, S. Czosnek, P. Palikaitis, E. Jacquot, T. Hohn, B. Hohn, K. Saunders, T. Candresse, P. Ahlquist, C. Hemmenway, and G. Foster. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 2011.
- [191] G.L. Schumann and K.J. Leonard. Stem rust of wheat. *American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, 539.*, 2000.
- [192] I. C. Senanayake, P. W. Crous, J. Z. Groenewald, S. S. N. Maharachchikumbura, R. Jeewon, A. J. L. Phillips, J. D. Bhat, R. H. Perera, Q. R. Li, W. J. Li, N. Tangthirasunun, et al. Families of diaportheales based on morphological and phylogenetic evidence. *Studies in Mycology*, 2017.
- [193] M. P. Sharma, S. K. Sharma, and G. K. Gupta. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria in the control of soil-borne diseases of selected oil-seed crops. volume II of *Agriculturally important microorganisms, an international multi-volume series*. Academic World International, Bhopal, 2010.
- [194] S Sharma, D. W. Heck, E. Branch, J. R. Kikkert, and S. J. Pethybridge. Cercospora leaf spot of table beet. *The Plant Health Instructor*, 2022.
- [195] D. Shepard. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings ACM National Conference*, 1968.
-

- [196] K. Shimizu and K. Aoki. Development of parasitic organs of a stem holoparasitic plant in genus *cuscuta*. *Plant Sci.*, 2019.
- [197] T. R. Sinclair. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. *Agr. Journ.*, 1971.
- [198] T. R. Sinclair. Diffuse reflectance hypothesis for the pathway of solar radiation through leaves. *Agr. Journ.*, 1973.
- [199] B. Slippers, E. Boissin, A. J. Phillips, J. Z. Groenewald, L. Lombard, M. J. Wingfield, A. Postma, T. Burgess, and P. W. Crous. Phylogenetic lineages in the botryosphaerales: a systematic and evolutionary framework. *Studies in Mycology. CBS.KNAW Fungal Biodiversity Centre*, 2013.
- [200] R. W. Smiley, A. A. Dababat, S. Iqbal, M. G. Jones, Z. T. Maafi, D. Peng, S. A. Subbotin, and L. Waeyenberge. Cereal cyst nematodes: A complex and destructive group of heterodera species. *American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, 539.*, 2017.
- [201] J. L. Smith, H. P. Collins, A. R. Crump, and V. L. Bailey. Management of soil biota an their processes. *Soil microbiology, Ecology and Biochemistry. Eldor A. Paul.*, 2015.
- [202] E. Stakman and J. Harrar. *Principles of Plant Pathology*. Ronald Press Company, 1957.
- [203] S. S. Stevens. On the theory of scales of measurement. *Science*, 1946.
- [204] R. B. Streets. *The diagnosis of plant diseases*. University of Arizona Press (Tucson, AZ), 1984.
- [205] M. Talavera. Manual de nematología agrícola. *Institut de Recerca y Formació agraria i pesquera. Conselleria d'Agricultura i pesca del Illes Balears*, 2003.
- [206] P. S. Teng. Estimating and interpreting disease intensity and loss in comercial fields. *The American Phytopathological Society*, 1983.
- [207] J. P. Thornthwaite and C. W. Mather. Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Climatology*, 1957.

-
- [208] A. Torquet. El inicio del fin de la mancha ocre (*polystigma amygdalinum*) como enfermedad clave del almendro. *XIV Jornada del Almendro. Irta.*, 2022.
- [209] A. Torres and R. López. Medición de luz diaria integrada en invernaderos. *Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes, Purdue University*, 2005.
- [210] R. N. Trigiano, M. T. Windham, and A. S. Windham. *Plant Pathology. Concepts and laboratory exercises*. CRC Press, 2004.
- [211] M.I. Trillas, E. Casanova, M.D. Sant, G. Segarra, C. Borrero, and M. Aviles. *Trichoderma asperellum* (t34): reducción de las enfermedades producidas por *fusarium oxysporum* y *rhizoctonia solani*. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología. Murcia, 2006.
- [212] A. Tripathi, S. C. Dubey, J. Akhtar, and P. Kumar. Development of pcr-based assays to diagnose the major fungal pathogens infecting pulse crops, potential for germplasm health certification and quarantine processing. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2023.
- [213] C. J. Tucker. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979.
- [214] UcIpm. Statewide pest management program. <https://ipm.ucanr.edu/>. *University of California Agriculture and National Resources*, 2022.
- [215] F. A. Uecker. Ontogeny of the ascoma of *glomerella cingulata*. *Mycologia*, 1994.
- [216] Usda. Soil health. *Natural Resources Conservation Service.*, 2023.
- [217] J. E. Vanderplank. Plant diseases: Epidemics and control. *Academic Press, New York.*, 1963.
- [218] J. Vereijssen. Cercospora leaf spot in sugar beet. epidemiology, life cycle components and disease management. *Biology*, 2004.
- [219] P. Vidhyasekaran. Bacterial disease resistance in plants. *Molecular biology and biotechnological applications*. 452 pp. *The Haworth Press, Binghamton, NY.*, 2002.
-

- [220] C. Visagie, J. Houbraken, J. Frisvad, S. Hong, C. Klaassen, G. Perrone, K. Seifert, J. Varga, T. Yaguchi, and R. Samson. Identification and nomenclature of the genus *penicillium*. *Studies in Mycology*, 2014.
- [221] J. A. VonArx. The genera of fungi sporulating in pure culture. *Verlag*, 1981.
- [222] C. Walker. Arbuscular mycorrhiza in the living collections at the royal botanic garden edinburgh. *Sibbaldia: The Journal of Botanic Garden Horticulture*, 2013.
- [223] T. Watanabe. Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and key to species. *CRC Press*, 2019.
- [224] J. D. Watson. *La doble helice*. Plaza and Janes. Barcelona, 1970.
- [225] J. Webster and R. Weber. *Introduction to Fungi*. Cambridge University Press, 2007.
- [226] R. Wegerhoff, O. Weidlich, and M. Kässens. Basics of light microscopy imaging. *IT VERLAG GmbH & Co. KG*, 2006.
- [227] H. H. Whetzel. The terminology of plant pathology. *Proc. Int. Cong. Plant Science, Ithaca, NY.*, 1926.
- [228] W. F. Wilcox. Phytophthora root and crown rot. *Cornell Cooperative Extension. Cornell University*, 1992.
- [229] M. S. Woronin. Plasmodiophora brassicae, urheber der kohlpflanzenhernie. *Jahrbücher für Wissenschaftliche Botanik*, 1878.
- [230] B. M. Wu, A. H. vanBruggen, K. V. Subbarao, and G. G. Penning. Spatial analysis of lettuce downy mildew using geostatistics and geographic information systems. *Phytopathology*, 2001.
- [231] X. Xu. Modelling and interpreting disease progress in time. *Chapter. National Institute of Agricultural Botany (NIAB)*, 2006.
- [232] Y. Yu, Y. Gui, Z. Li, C. Jiang, J. Guo, and D. Niu. Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. *Plants*, 2022.
- [233] J. C. Zadoks and R. D. Schein. Epidemiology and plant disease management. *Oxford University Press*, 1979.

-
- [234] R. Zas, A. Solla, and L. Sampedro. Variography and kriging allow screening pinus pinaster resistant to armillaria ostoyae in field conditions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 2007.
- [235] N. Zhang, L.A. Castlebury, A.N. Miller, S.M. Huhndorf, C.L. Schoch, K.A. Seifert, K.Y. Rossman, J.D. Rogers, J. Kohlmeyer, B. VolkmannKohlmeyer, and G.H. Sung. An overview of the systematics of the sordariomycetes based on a four-gene phylogeny. *Mycologia. The Mycological Society of America*, 2006.
- [236] C. Zipfel. Pattern-recognition receptors in plant innate immunity. *Current Opinion in Immunology*, 2008.
- [237] E. Zúñiga. The red leaf blotch of almond, caused by polystigma amygdalinum in catalonia, biology and epidemiology. *Tesis doctoral. Universidad Autonoma de Barcelona*, 2019.
- [238] E. Zúñiga, J. Romero, A. Ollero-Lara, M. Lovera, O. Arquero, X. Miarnau, L. Torquet, A. Trapero, and J. Luque. Inoculum and infection dynamics of polystigma amygdalinum in almond. *Plant Disease*, 2020.
-

Índice de figuras

2.1. Agalla en tuberculosis del olivo producida por bacterias (<i>Pseudomonas</i>).	8
2.2. Tumores en membrillero producidos por bacterias (<i>Agrobacterium</i>).	8
2.3. Agallas producidas por áfidos en cornicabra.	9
2.4. Agallas producidas por ácaros en peral.	9
2.5. Verticilosis en olivo.	9
2.6. Rebrote en olivo muy afectado por verticilosis.	9
2.7. Bacteriosis en membrillero.	11
2.8. Bacteriosis en peral.	11
2.9. Cribado en almendro (<i>Wilsonomyces</i>).	12
2.10. Chancro del almendro (<i>Fusicoccum</i>).	12
2.11. Chancro en tronco de encina.	12
2.12. Chancro en tronco de alcornoque.	12
2.13. Deformacion de fruto por <i>Taphrina</i> en almendro.	13
2.14. Deformacion de hoja en durillo.	13
2.15. Abolladura en nectarino.	14
2.16. Abolladura en melocotonero.	14
2.17. Gomosis en la base del tronco de almendro.	14
2.18. Gomosis en frutos de almendro producida por cribado.	14
2.19. Falta de iluminación en Monstera, no así para la Maranta que se encuentra junto a ella que vegeta adecuadamente en ese lugar.	15
2.20. Falta de iluminación en Dracaena.	15
2.21. Negrilla (<i>Capnodium</i>) sobre palmera.	16
2.22. Negrilla sobre pitósporo.	16
2.23. <i>Alternaria</i> en acelga.	17
2.24. <i>Alternaria</i> en pistachero.	17

2.25. Manchas por <i>Septoria</i> en pistachero.	18
2.26. Manchas foliares por <i>Septoria</i> en Madroño.	18
2.27. <i>Diplocarpon</i> en rosal.	18
2.28. Detalle de mancha de <i>Diplocarpon</i> en rosal, pueden apreciarse los pequeños acérvulos.	18
2.29. <i>Entomosporium</i> en Photinia.	19
2.30. Detalle de <i>Entomosporium</i> en Photinia.	19
2.31. Mancha ocre (<i>Polystigma</i>) en almendro.	19
2.32. Marchitamiento por falta de riego.	20
2.33. Marchitamiento en pitósporo.	20
2.34. Mildiu en calabaza.	20
2.35. Detalle de mildiu en el envés de hoja de calabaza.	20
2.36. Virosis en rosal.	21
2.37. Virosis en tomate.	21
2.38. Fructificación de <i>Mucílago crustacea</i>	22
2.39. Detalle de <i>Mucílago crustacea</i>	22
2.40. Muerte de almendro.	23
2.41. Muerte de ficus en interior.	23
2.42. Muerte de gran cantidad de ramas en olivos por verticilosis.	23
2.43. Muerte de ramas en vid por <i>Eutypa</i>	24
2.44. <i>Eutypa</i> en sección de tronco, puede acabar muriendo toda la cepa.	24
2.45. Oidio del chopo.	24
2.46. Cleistotecios en oidio del chopo.	24
2.47. Síntomas de oídio en hoja de vid.	25
2.48. Síntomas de oídio en sarmiento de vid.	25
2.49. Oídio en calabacín.	25
2.50. Oídio en evónimo.	25
2.51. <i>Monilia</i> en cerezo.	26
2.52. <i>Monilia</i> en almendro.	26
2.53. <i>Botrytis</i> sobre rosal.	27
2.54. Micelio de <i>Penicillium</i> sobre naranja.	27
2.55. Crecimiento de hongos sobre almendras con la consiguiente presencia de toxinas.	27
2.56. Roya en malva.	28
2.57. Detalle de roya sobre malva mostrando las estructuras que contienen las esporas.	28
2.58. Tumor en tronco de <i>Cercis</i>	29
2.59. Tumores en tronco de acacia.	29

2.60. ¿Qué le pasa a esta planta y cómo puedo corregirlo?.	
La respuesta puede no ser sencilla, generalmente no es inmediata y pudiera necesitarse cierto número de datos y procesos complejos para precisarlo	37
2.61. Variabilidad superficial del suelo, son claramente visibles los efectos de la erosión.	37
2.62. Perfil de suelo en la provincia de Toledo, en este caso muy degradado. En las operaciones de diagnóstico, pueden apreciarse características y tomar muestras del mismo.	37
2.63. Estimación de la textura en campo.	38
2.64. Tiras de pH para estimación en campo.	38
2.65. Dispositivo con tira de flujo lateral para test rápido de antígenos.	38
2.66. Cámara macro portátil.	39
2.67. Imagen de micelio tomada con cámara macro y unos 10X.	39
2.68. Microscopio simple digital.	39
2.69. Imagen de micelio tomada con microscopio simple digital y unos 100X.	39
2.70. Microscopio compuesto.	40
2.71. Imagen de hifas y macroconidios de <i>Fusarium</i> tomada con microscopio compuesto.	40
2.72. Secuencia de identificación de <i>Botrytis</i> : utilización de cámara húmeda, preparación de muestra por disección y observación al microscopio.	40
2.73. Aislamiento de hongos. Sección de hoja de madroño, con manchas de <i>Septoria</i> , situada sobre medio de cultivo. En los bordes de la muestra aparece el micelio que se va desarrollando progresivamente.	41
2.74. Aislamiento de hongos. Crecimiento de <i>Penicillium</i> sobre medio de cultivo, 2 días tras la siembra y 7 mm. de diámetro.	41
2.75. Cultivo de <i>Alternaria</i> , durante siete días a temperatura ambiente.	42
2.76. Colonias de bacterias en placa de Petri. Fotografía cortesía del laboratorio de microbiología de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid	42
2.77. Conidióforos de <i>Penicillium</i>	42
2.78. Conidios de <i>Alternaria</i>	42

2.79. Peachímetro y conductímetro. Fotografía cortesía del laboratorio de edafología de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid.	43
2.80. Termociclador para PCR. Fotografía cortesía del laboratorio de bioquímica de la ETS de Ing. Agronómica, Agroalimentaria y Biosistemas de la Universidad Politécnica de Madrid.	43
3.1. Mixomicetos, ef: esporóforos, e: espora, m: mixameba, cf: célula flagelada, p: plasmodio [118].	46
3.2. Plasmodioforomicetos, cq: célula de la raíz con quistes, er: espora de resistencia, z: zoospora, pp: plasmodio primario en pelo radicular, ps: plasmodio secundario en suelo y despues en célula de la raíz [126].	46
3.3. <i>Phytophthora</i> en frutales [228]. e: esporangio, o: oospora, z: zoospora.	49
3.4. Mildiu de la vid [14]. e: esporangio, o: oospora, z: zoospora.	49
4.1. Talo de <i>Olpidium</i> , z: zoosporas y zoosporangios con tubo de descarga , el talo es holocárpico (todo el se convierte en esporangio) [229].	53
4.2. <i>Mucor</i> , e: esporangios, z: zigospora [225].	53
4.3. Esquema de micorrizas vesiculo arbusculares (MVA) y ectomicorrizas (EM) [222, 38], e: esporas, mf: manto fúngico.	53
4.4. Tipos de ascas. pt: prototunicada, ui: unitunicada inoperculada, uo: unitunicada operculada, bt: bitunicada [6] [126][225].	55
4.5. Micelio y ascas en <i>Taphrina</i> [35][6]. a: ascas, ap: ascosporas	55
4.6. Estructuras de reproducción sexual de ascomicetos, CT: cleistotecio, PT: peritecio, ST: pseudotecio, AT: apotecio, o: ostiolo, a: ascas, pe: perífisis, pa: paráfisis, sp:pseudoparáfisis [6, 4].	56
4.7. Estructuras de reproducción asexual de ascomicetos, PI: picnidio, AC: acérvulo, ED: esporodoquio, CH: conidio-ma hifal, CL: clamidospora [6, 4].	56

4.8. Esquema de las estructuras de <i>Trichoderma</i> [47, 7], m: micelio, e: esporas, hf: hongo fitopatógeno.	57
4.9. Estructuras en <i>Claviceps</i> . e: esclerocios, p: peritecio con ascas y ascosporas, pe: peritecios inmersos en el estroma.	58
4.10. Estructuras en <i>Nectria</i> . ch: chancro en rama o tronco, p: peritecios con ascas y ascosporas, ed: esporodoquio con conidios.	58
4.11. Estructuras y síntomas de <i>Colletotrichum</i> y <i>Glomerella</i> (tel), p: peritecio, a: acérvulo, s: setas, sf: síntomas en frutos	60
4.12. Estructuras de <i>Ophiostoma</i> . si: sinemas o coremios, con conidios, p: peritecio con ascosporas, e: escolítico, g: galerías del insecto, vx: vaso del xilema con micelio y esporas [55].	60
4.13. Signos y síntomas de <i>Cryphonectria</i> , p: peritecios, pt: peritecios en tronco o rama, c: cirro con conidios, pi: picnidio, pit: picnidios en tronco o rama.	60
4.14. Signos y síntomas de <i>Hypoxyton</i> , p: peritecios en estroma, et: estroma en tronco.	60
4.15. Estructuras y síntomas de <i>Elsinoë</i> . s: síntomas, ac: acérvulo, a: asca, st: pseudotecio	61
4.16. Estructuras y síntomas de <i>Ascochyta</i> (ana) y <i>Mycosphaerella</i> (tel). s: síntomas, p: picnidio, st: pseudotecio.	61
4.17. Ascas (a), peritecio (p) y picnidio (pi) de <i>Polystigma</i>	62
4.18. Ascas (a), peritecios (p) y picnidio (pi) de <i>Capnodium</i>	62
4.19. Estructuras y síntomas en <i>Septoria</i> y <i>Mycosphaerella</i> , st: pseudotecio, p: picnidio y picnidiosporas, s: síntomas.	63
4.20. Estructuras y síntomas en <i>Alternaria</i> , c: conidióforos y conidios, s: síntomas.	63
4.21. Estructuras y síntomas en <i>Venturia</i> , st: pseudotecio, c: conidios, s: síntomas.	64
4.22. Estructuras y síntomas en <i>Guignardia</i> y <i>Phyllosticta</i> (ana), st: pseudotecio, p: picnidio, s: síntomas. [4][17]	64
4.23. Estructuras en oidio. c: conidios, cl: cleistotecio, a: asca, ap: apéndices, h: haustorios.	66
4.24. Estructuras en <i>Botrytis</i> . c: conidios, m: micelio.	66

4.25. Síntomas y signos en <i>Monilinia</i> sf: síntomas en flor, st: síntomas en tallo, sfr: síntomas en fruto, a: apotecio, ap: ascosporas, gm: apotecios por germinación en fruto momificado, c: conidióforos y conidios. [169, 145]	67
4.26. Síntomas y signos en <i>Sclerotinia</i> . sp: síntomas en planta, gc: apotecios por germinación carpogénica de esclerocio, gm: germinación miceliar de esclerocio, a: apotecio, ap: ascas con ascosporas, sbt: síntomas en la base del tallo. [171, 98, 139]	67
4.27. Estructuras y síntomas en <i>Fusarium</i> , mac: macroconidios, mic: microconidios, cl: clamidosporas, sp: síntomas en el conjunto de la planta, mx: micelio en xilema. [104], [94]	69
4.28. Estructuras y síntomas en <i>Verticillium</i> , me: microesclerocio (estructura dura de resistencia del hongo), c: conidióforos, sr: síntomas en ramas, sst: síntomas en sección de tallo, mx: micelio en xilema.[104], [29]	69
4.29. Signos y síntomas en <i>Cercospora</i> , sh: síntomas en hoja, dsh: detalle de síntomas, c: conidióforos y conidios. [194][166][218][165]	70
4.30. Signos y síntomas en <i>Phomopsis</i> , p: picnidio y picnidiosporas, ci: cirrus, sv: síntomas en vid, sa: tallo de almendra con cirrus.[9]	70
4.31. Esquema de conidióforo de <i>Aspergillus</i> .	70
4.32. Esquema de conidióforo de <i>Penicillium</i> .	70
4.33. Estructuras de los basidiomicetos, ES: espermogonio, EC: ecio, TE: telio con teliosporas, basidios y basidiosporas, UR: uredio.	73
4.34. <i>Ustilago Maydis</i> , ts: teliosporas, bs: basidiosporas.	73
5.1. <i>Meloidogyne</i> , he: hembra con huevos, h: huevo [144].	79
5.2. <i>Heterodera</i> , he: hembra, h: huevos, q: quiste [200].	79
5.3. Muérdago.	80
5.4. Cuscuta (c) y jopo (j). [196]	80
6.1. Aclareo de la copa.	86
6.2. Soplado de hojas.	86
6.3. Retirada de restos de poda.	87

6.4. El encalado de troncos, aparte del beneficio para evitar plagas, también evita quemaduras por insolación excesiva.	87
6.5. En suelos cultivados, es recomendable disminuir el laboreo y hacer aportes de materia orgánica, con el fin de mantener la calidad y favorecer el estado sanitario de las plantas.	91
6.6. Los estercolados, tan necesarios en condiciones alteradas del equilibrio natural, no se necesitan en los ecosistemas naturales para mantener la fertilidad, como sucede con esta selva del P. N. de Azagny en Costa de Marfil. . . .	91
6.7. Cubierta herbácea en pistachos en la provincia de Ciudad Real en secano fresco, aunque con fuerte aridez estacional, suelo profundo de acetable calidad.	92
6.8. Cubierta herbácea en olivos en la provincia de Ciudad Real en riego por goteo, suelo muy erosionado con subsuelo muy arcilloso por lo que se hicieron caballones para la plantación.	92
6.9. Los ácidos salicílico y jasmónico, junto con el etileno, juegan un papel fundamental en la respuesta de las plantas al ataque de patógenos.	94
6.10. Formula química de tebuconazol y fosetyl-Al.	98
6.11. Equipos manuales de tratamientos: pulverizador de émbolo y fuelle para espolvoreo	99
6.12. Polvos mojables para aplicar en pulverización: azufre y cobre (oxicloruro).	99
6.13. Cuba suspendida para tratamientos.	99
6.14. Tratamiento con fungicida en pulverización sobre plantación de almendros.	99
7.1. Daños por helada en caqui.	106
7.2. Daños por heladas en albaricoquero.	106
7.3. Daños por altas temperaturas en peral.	106
7.4. Daños por frío en tomate.	106
7.5. Síntomas de altas temperaturas en grosellero, esta especie necesita una exposición con cierto sombreado para tolerar las irradiancia solar tan fuerte del verano en Madrid.	107

7.6. Síntomas de altas temperaturas en rusco, situado en una exposición al sur en Ciudad Real. Aunque hay un rusco (silvestre) que vegeta bien bien en condiciones naturales en la zona, sin embargo, suele encontrarse en ámbitos sombreados	107
7.7. Quemaduras en fruto y hoja de manzano.	107
7.8. Quemaduras de nispero en tronco y ramas, con orientación Sur.	108
7.9. Quemadura en tronco de fresno, con orientación Oeste.	108
7.10. Las mejores condiciones para una especie son las que mas se asemejen a las de su lugar de origen. En la foto de la izquierda puede verse un Ficus elastica en un piso de Tres Cantos (Madrid) y en la de la derecha, otro ficus de la misma especie en un jardin del «plateau» de Abiyan.	108
7.11. Confinamiento de raíces. Debido al tamaño del contenedor, con frecuencia la cantidad de sustrato disponible, acaba siendo pequeña, produciéndose problemas para el desarrollo. En las imagenes puede verse la diferencia entre unos palmitos en Madrid y un cocotero en Abiyan.	111
7.12. El encharcamiento de larga duración puede afectar incluso al arbolado de gran porte.	111
7.13. Ciertas especies están adaptadas a condiciones de hidromorfismo o francamente al medio acuatico, como sucede con este manglar de Grand Lahou en Costa de Marfil.	111
7.14. Cristales de sal en el agujero del drenaje.	112
7.15. Aspidistra con síntomas de salinización, las sales son visibles en el exterior de la maceta de arcilla.	112
7.16. Síntomas de stres por falta de agua en cotoneaster.	112
7.17. Síntomas de stres por falta de agua en bambú.	112
7.18. Falta de agua en castaño.	113
7.19. Falta de agua en tilo.	113
7.20. Rajado de granada por lluvia.	113
7.21. Rajado de tomate por aumento brusco de humedad.	113
7.22. Estiércoles y abonos químicos. De izquierda a derecha: estiércol muy hecho, estiércol pajoso, abono complejo 15-15-15 (N-P-K) y abono para disolver y ser aplicado en pulverización.	116

7.23. Síntomas esquematizados de algunas carencias nutricio- nales, pueden variar de unas especies a otras, incluso entre variedades. N: Nitrógeno, Fe: Hierro, Mn: Manga- neso, Mo: Molibdeno, K: Potasio, Zn: Cinc.	116
7.24. Deficiencia de calcio en calabacín en Tres Cantos, son suelos sobre materiales graníticos, ligeramente ácidos y con escaso contenido en Ca.	117
7.25. Podredumbre apical por deficiencia de calcio, el tomate procede de un mercado de Abián, en estas zonas con un clima tropical, los suelos están muy lavados y, una vez que pierden su cubierta vegetal original, se empobrecen rápidamente en nutrientes.	117
7.26. Carencia nutricional en vid, debido a la alcalinización del suelo por incorporación de ceniza.	118
7.27. Carencia nutricional en hortensia en sustrato con pH ba- jo.	118
7.28. Daño por deriva de herbicida en plantón de almendro. .	119
7.29. Daño por deriva de herbicida en colleja.	119
7.30. Daños por nevada en olmo.	120
7.31. Daños por maquinaria en arce negundo.	120
8.1. Triángulo de la enfermedad infecciosa.	124
8.2. Ciclo general de la enfermedad infecciosa.	124
8.3. Oidio en rosal, puede verse el micelio blanco, sobre la superficie de las hojas con esporas de origen asexual (co- nidios).	124
8.4. Cleistotecios sobre micelio de oidio en la superficie de la hoja. Puede verse que presentan diferente estado de madurez, según su color, los cleistotecios contienen espor- as de origen sexual (ascosporas) en el interior de ascas (sacos o vainas).	124
8.5. Imagen parcial de hoja de acelga con manchas.	126
8.6. Medida de la severidad sobre imagen de un fragmento de hoja de acelga clasificada automáticamente para discrimi- nar partes sanas y enfermas. El dato se ha obtenido a partir de una clasificación no supervisada con un Kappa promedio de 0,9356, en la estimación de éste sólo se han incluido las propias áreas de entrenamiento con las que se ha realizado la clasificación (ver texto).	126
8.7. Imagen de hoja de chopo afectada por oídio.	127

8.8. Estimación de la severidad a partir de imagen de hoja de chopo, previamente clasificada.El dato se ha obtenido a partir de una clasificación supervisada con un Kappa promedio de 0,9350, en la estimación de éste sólo se han incluido las propias .areas de entrenamiento con las que se ha realizado la clasificación (ver texto).	127
8.9. Modelo Monomolecular.	131
8.10. Modelo Logístico.	131
8.11. Celdas de Voronoi y triangulación de Delone, de una serie de observaciones [152].	143
8.12. Modelo digital raster obtenido por el método de ponderación inversa a la distancia (Shepard)[152].	143
8.13. Fragmento del listado de muestras con coordenadas y valor de la severidad (en %)[152].	144
8.14. Ejemplo de semivariograma para una serie de muestras con la severidad [152].	144
8.15. Semivariograma teórico.	144
8.16. Semivariograma experimental [152].	144
8.17. Modelo digital raster obtenido por krigeado, visualizado con una paleta de colores [152].	145
8.18. Visualización perspectiva del modelo raster por krigeado ordinario, con los valores de severidad (en Z) exagerados [152].	145
9.1. Longitud de onda.	150
9.2. Regiones del espectro electromagnético en función de la longitud de onda.	150
9.3. Estructura de una hoja y reflectividad. A: azul, V: verde, R: rojo, IRp: infrarrojo próximo.	151
9.4. Esquema del espectro de reflectividad de una hoja verde sana. A: azul, V: verde, R: rojo, IRp: infrarrojo próximo, IRm: infrarrojo medio, λ : longitud de onda, R: reflectividad.	151
9.5. Esquema del funcionamiento de un radiómetro.	151
9.6. Esquema de imagen multibanda.	151
9.7. Imagen multibanda procedente de una fotografía color, aparecen las bandas (monocromas) del azul, verde y rojo, así como una combinación color de ellas.	156

- 9.8. Resultado de clasificación bayesiana de la imagen de la Fig. 9.7, aparece la distribución de cuatro tipos de tejido y sus curvas de valores digitales en un rango de 0 a 100. Se muestra también, en azul, la curva de reflectividad de un tejido sano, tomado con radiómetro, en este caso los valores están en%. 156
- 9.9. Componentes Principales de la imagen multibanda de la Fig. 9.7, la información de la imagen inicial se distribuye sobre estas nuevas bandas sin sufrir pérdidas. La que mas información contiene es la primera componente principal (PC1), después PC2 y por último PC3. Estas nuevas bandas están incorreladas entre sí (la información que hay en una, no la hay en otra). 157
- 9.10. Imagenes con el resultado de los índices GRVI y VARI procedentes de la imagen de la Fig. 9.7, ambos aparecen muy similares. En vez de visualizarse estos índices con una paleta de niveles de gris, se hace con una paleta que va del marrón al amarillo, pasando por el verde. Los tonos marrones indican tejido necrótico, los amarillos clorótico y los verdes tejido sano 157

Índice de cuadros

1.1. Numero de enfermedades infecciosas en publicaciones sobre Gestión Integrada de Plagas en España [134] y Estados Unidos [214]	5
7.1. Ejemplo de análisis del contenido en elementos nutritivos de un suelo.	115

Nomenclatura

Acérvulo	Estructura reproductiva asexual revestida de conidióforos, con forma cóncava que se produce debajo de la cutícula del huésped y que se rompe para dar salida a los conidios.
Agallas	Porciones aumentadas o extendidas de organos de plantas.
Alteración vascular	Obstrucción de vasos conductores de la savia.
Anamorfo	Estado o fase asexual de un hongo.
Antracnosis	Enfermedad que se presenta como lesiones negras sobre hojas, tallos o frutos y que se producen por hongos que se reproducen asexualmente mediante acérvulos.
Apotecio	Ascocarpo con forma de plato.
Apresorio	Estructura formada a partir de una hifa o tubo de germinación de una espora. Permite adherirse a la superficie del hospedante para producir la penetración en el mismo.
Asca	Célula en forma de saco o vaina que contiene un número determinado de esporas de origen sexual, las ascósporas.
Ascocarpo	Ascoma.
Ascoma	Cuerpo frutífero en el cual se producen las ascas.
Ascostroma	Pseudotecio.

Basidio	Estructura en cuyo exterior se disponen esporas.
Biotrofos	Organismos que obtienen sus nutrientes de los tejidos vivos del organismo al cual parasitan.
Carbon	Lesiones, a veces tumorales, con masas pulverulentas de esporas de coloración oscura producidas, generalmente, por ciertos basidiomicetos.
Chamuscado	Pardeamiento rápido y generalizado con muerte de partes de la planta.
Chancro	Lesión necrótica agrietada en ramas, tallos o tronco.
Clamidospora	Espora de pared gruesa de origen asexual, formada a partir de la célula de una hifa.
Cleistotecio	Ascocarpo esférico y cerrado.
Clorosis	Amarilleamiento, pérdida de color en tejidos que son normalmente verdes.
Conidio	Espora de origen asexual que se forma en hifas especializadas conocidas como conidióforos.
Conidioma hifal	Conidióforo individualizado.
Costra	Lesión localizada, seca y áspera.
Damping-off	Colapso de plántulas por daño en la base del tallo.
Decaimiento	Pérdida progresiva de vigor a lo largo del tiempo.
Diagnóstico	Identificación de la naturaleza y la causa de una enfermedad.
Ecio	En las royas , estructuras mas o menos con forma de copa que se abren en la epidermis de las hojas de la planta parasitada (en la roya del trigo, el agracejo) y que contienen cadenas de esporas dicarióticas (con dos nucleos) que se denominan eciosporas.
Ectoparásito	Que se alimenta de su huésped desde el exterior.
Enanismo	Retraso en el crecimiento.

Endófito	Parásito sistémico.
Esclerocio	Cuerpo oscuro, duro, resistente a condiciones desfavorables, que puede permanecer en dormición por períodos largos de tiempo y germinar cuando las condiciones favorables se restablecen. Se forma por agrupamiento y compactación de hifas.
Escoba de brujas	Proliferación masiva y apelonamiento de ramas, de plantas leñosas .
Espermacio	Estructura unicelular semejante a una espora que se comporta como un gameto masculino.
Espermogonio	Estructura en la cual se producen espermacios, en la roya del trigo se producen sobre el agracejo.
Esporodoquio	Conidióforos cortos, unidos de forma compacta, veces dispuestos sobre un estroma y con aspecto almohadillado
Estoma	Estructura de la parte aérea de las plantas que se encarga del intercambio gaseoso e hídrico con la atmósfera, está formado por las células oclusivas, bajo las cuales se encuentra una cavidad denominada cámara subestomática.
Estroma	Estructura fúngica somática (no reproductiva) y compacta en la que se forman fructificaciones.
Etiolación	Efectos que produce en la planta una iluminación insuficiente. Los tallos suelen presentar debilidad, clorosis y entrenudos alargados, entre otros posibles síntomas.
Fitopatógeno	Patógeno de plantas.
Fumagina	Coloración negruzca con aspecto de hollín sobre la superficie hojas y frutos, debida al color oscuro de las hifas de hongos que viven sobre la melaza que producen ciertos insectos.
Gemación	Proceso reproductivo asexual que supone la formación de crecimientos externos o yemas, desde la

	célula madre, las cuales dan lugar a células independientes.
Gomosis	Producción y acumulación de savia por parte de los tejidos de la planta.
Haustorio	Extensión de una hifa hacia el interior de una célula que funciona como órgano de absorción.
Hemibiotrofos	Organismos que una parte de su ciclo biológico lo desarrollan como biotrofos y otra como necrotrofos.
Hidatodos	Estructuras que se localizan en bordes y extremos de las hojas, las cuales descargan agua y algunas sustancias disueltas desde el interior hasta la superficie.
Hifa	Filamento que constituye una ramificación simple del micelio.
Huésped	Planta parasitada.
Inóculo	Cualquier parte del patógeno capaz de iniciar una infección.
Lenticela	Estructura lenticular, en el tallo de plantas leñosas que permite el intercambio gaseoso.
Logístico	Modelo que se utiliza para describir matemáticamente la evolución de una enfermedad policíclica en el tiempo.
Marchitamiento	Pérdida generalizada de turgencia con decaimiento de hojas y brotes.
Meiospora	Espora de origen sexual que procede de meiosis , proceso que supone una reducción del numero de cromosomas a la mitad.
Micelio	Hifas o conjunto de hifas que forman el cuerpo del hongo.

Micoparásito	Organismo con la capacidad de parasitar hongos.
Micorriza	Asociación simbiótica que forman ciertas especies de hongos del suelo y las raíces de las plantas. Entre los tipos principales se encuentran las ectomicorrizas y las vesiculobusculares (MVA).
Mildiu	Crecimiento superficial, con aspecto algodonoso por micelio y esporas generalmente en el envés de las hojas.
Mitospora	Espora obtenida por mitosis, proceso por el cual una célula replica sus cromosomas y luego los distribuye, produciendo dos núcleos idénticos.
Monocíclica	Tipo de enfermedad en la cual, el patógeno presenta un ciclo biológico por año.
Monomolecular	Modelo que se utiliza para describir matemáticamente la evolución de una enfermedad monocíclica en el tiempo.
Necrotrofos	Microorganismos que se alimentan únicamente de tejidos muertos.
Negrilla	Fumagina.
Oidio	Micelio y esporas de color blanquecino que puede recubrir hojas, tallos, flores y frutos.
Ostiole	En peritecios y picnidios es la pequeña apertura o poro, por donde salen las esporas.
Parafisoides	Pseudoparáfisis.
Paráfisis	Hifas estériles interascales en algunos cuerpos fructíferos de hongos.
Parásito	Organismo que vive a expensas de otro.
Patógeno	Organismo que produce una enfermedad.

Peritecio	Ascocarpo que puede tener forma redondeada, de matraz o de botella, con un poro apical u ostiolo por donde se liberan las esporas.
Períffisis	Paráfisis cortas que rodean la abertura del ascocarpo.
Picnidio	Cuerpo fructífero asexual revestido de conidióforos, tiene forma de matraz, con frecuencia, sus esporas o conidios se denominan picnidiosporas y pueden salir en masa por la abertura del picnidio u ostiolo como cordones viscosos, conocidos como cirros.
Plasmodio	Masa desnuda de protoplasma con gran cantidad de núcleos.
Policíclica	Tipo de enfermedad en la cual, el patógeno presenta mas de un ciclo biológico por ciclo de crecimiento de la planta.
Poliéticas	Tipo de enfermedad en la cual, el patógeno presenta un ciclo biológico que necesita mas de un año para completarse.
Propágulo	Unidad de inóculo.
Pseudoparáffisis	Hifas interascales a modo de paráfisis pero que no tienen extremos libres.
Pseudotecio	Huevo que se produce en una matriz formada por el hongo y conocida como estroma, dentro del cual se forman las ascas.
Rizomorfa	Hebra gruesa formada por hifas que han perdido su individualidad.
Roya	Pequeñas lesiones en hojas y tallos, normalmente de color rojizo-amarillento.

Saprotrofos	Rerido a hongos, son aquéllos que crecen sobre tejidos de plantas muertas y absorben nutrientes segregando enzimas hidrolíticos.
Septos	Divisiones entre las células del hongo.
Signo	Visualización directa del agente que produce la enfermedad.
Simbiosis	Relación entre individuos de diferentes especies, con beneficio para ellos.
Sinema	Conidióforos unidos formando un penacho o pincel.
Sistémico	Que se dispersa internamente en la planta, puede tratarse de un patógeno o un producto químico.
Síntoma	Cambio visible o detectable en la apariencia o crecimiento de una planta.
Teleomorfo	Fase sexual de un hongo.
Telio	Estructura productora de esporas, similar al uredio, aunque suele ser mas oscuro, tras la germinación de de sus esporas (teliosporas), se producen basidios con basidiosporas. En el caso de la roya del trigo se desarrollan sobre esta especie.
Tizón o caries	Semillas o agallas rellenas con micelio o esporas de color oscuro producido por ciertos basidiomicetos.
Uredio	Estructura productora de esporas, con aspecto de pústula subepidérmica que produce esporas dicarióticas (con dos nucleos), las esporas se denominan uredosporas. En el caso de la roya del trigo, se producen sobre esta especie.
Vacuola	Orgánulo celular.
Zoospora	Espora con flagelo o flagelos, capaz de movimiento propio.

Índice alfabético

- Agrobacterium, 28, 74
Albugo, 26, 47, 48
Alternaria, 3, 10, 42, 63, 68
AMV, 21
Aphanomyces, 47, 48
ApMV, 21
Armillaria, 17, 21, 22, 72
ArMV, 75
ASBVd, 76
Ascochyta, 61
Aspergillus, 4, 26, 68
Athelia, 72

Bacillus pumilus, 86
Bacillus subtilis, 86
BBWV, 21
BCMV, 21
Blumeriella, 65
BNYV, 75
Botryosphaeria, 16, 64
Botrytis, 3, 11, 26, 40, 66
Bremia, 17, 48, 49
Brenneria, 11
BYMV, 21

CaMV, 75
Capnodium, 16, 61
CBLVd, 76
Ceratocystis, 58
Cercospora, 68
Clavibacter, 11, 74

Claviceps, 57
CMV, 75
Colletotrichum, 3, 10, 58
Cordiceps, 57
Cryphonectria, 59
Cryptodiaportia, 11
CSVd, 76
Cuscuta, 77
Cytospora, 11

Dickeya, 74
Didymella, 11, 63
Diplocarpon, 10, 66
Drechslera, 63

Elsinoë, 10, 61
Entomosporium, 66
Entyloma, 72
Epichloë, 57
Epicloë, 4
Erwinia, 10, 74
Erysiphe, 22, 65
Esclerotinia, 3
Eutypa, 22, 59
Exobasidium, 8

Fuligo, 45
Fulvia, 68
Fusarium, 3, 8, 11, 17, 40, 68, 88
Fusicoccum, 11

Gaeumannomyces, 59

- GFLV, 75
 Glomerella, 10
 Glomus, 52
 Glomus intraradices, 87
 GLRaV-1, 75
 GLRaV-3, 75
 Gnomonia, 10
 Guignardia, 64

 Haemanectria, 57
 Heterodera, 76
 Hyaloperonospora, 49
 Hypoxylon, 59

 III, 76
 IV, 76

 Lepteutypa, 11
 Leptosphaeria, 63
 Leveillula, 65
 LMV, 75
 Lophodermium, 65

 MDMV, 75
 Melampsora, 15
 Meloidogyne, 28, 76
 Micorrizas, 52, 87
 Monilia, 3, 10, 26
 Monilinia, 66
 Moniliophthora, 15
 MRDV, 75
 Mucilago, 21, 45
 Mucor, 52
 Mycosphaerella, 61

 Nectria, 11, 57

 Oidium, 65
 Olpidium, 52
 Ophiostoma, 8, 59
 Orobancha, 77

 PDV, 75
 Pectobacterium, 26, 74
 Penicillium, 26, 41, 68
 PepMV, 75
 Peronospora, 17, 49
 Pseudoperonospora, 48, 49
 Phialophora, 88
 Phomopsis, 4, 66
 Phragmidium, 71
 Phyllosticta, 64
 Physarum, 45
 Phytophthora, 3, 10, 16, 17, 21, 22, 47, 48, 107
 Phytoplasma, 13
 Plasmodiophora, 46
 Plasmodiophora, 28
 Plasmopara, 17, 48, 49
 PMMoV, 75
 PNRSV, 75
 Podosphaera, 22, 65
 Polystigma, 61
 Polystigmata, 66
 PPV, 75
 Pratilenchus, 76
 Pseudocercospora, 68
 Pseudomonas, 8, 10, 16, 74
 Pseudomonas chlororaphis, 86
 Pseudoperonospora, 17
 Puccinia, 26, 71
 PVY, 75
 Pyrenophora, 63
 Pyricularia, 59
 Pythium, 3, 11, 17, 22, 47–49, 88, 107
 Pythium oligandrum, 86

 Rhizoctonia, 11, 72, 88
 Rhizophagus irregularis, 87
 Rhizopus, 52
 Rhodococcus, 74

Rhynchosporium, [68](#)

Rhytisma, [65](#)

Rosellinia, [59](#)

Sclerotinia, [26](#), [66](#)

Sclerotium, [68](#)

SCMV, [75](#)

Septoria, [3](#), [18](#), [41](#), [61](#)

Setosphaeria, [63](#)

Sphacelotheca, [72](#)

Sphaeroteca, [22](#), [65](#)

Spilocaea, [10](#)

Spongospora, [47](#)

Stereum, [72](#)

Stigmina, [68](#)

Streptomyces, [13](#)

Synchytrium, [28](#), [52](#)

Taphrina, [13](#), [55](#)

Thermus, [35](#)

Tilletia, [26](#), [72](#)

ToCV, [75](#)

ToMV, [75](#)

Tranzschelia, [71](#)

Trichoderma, [57](#), [88](#)

TSWV, [75](#)

TYLCV, [75](#)

Uncinula, [22](#)

Urocystis, [71](#)

Uromyces, [26](#), [71](#)

Urophlyctis, [28](#), [52](#)

Ustilago, [71](#)

Venturia, [13](#), [63](#)

Verticillium, [8](#), [17](#), [22](#), [68](#)

Viscum, [77](#)

WDV, [15](#)

Wilsonomyces, [68](#)

Xanthomonas, [74](#)

Xantomonas, [8](#)

Xylaria, [4](#)

Xylella, [8](#), [73](#), [82](#), [84](#)

Xylophilus, [74](#)

ISBN 978-84-09-50046-8



S. Ormeño Villajos